

LE BASSIN DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE : CONTAMINATION DE L'EAU PAR DES MÉTAUX ET CERTAINES SUBSTANCES ORGANIQUES TOXIQUES

David Berryman¹ et André Nadeau²

¹Adresse : Direction des écosystèmes aquatiques, ministère de l'Environnement et de la Faune, édifice Marie-Guyart, 7^e étage, 675, boul. René-Lévesque Est, Québec (Québec) G1R 5V7.

²Société Duvetnor Itée, 200 rue Hayward, Casier postal 305, Rivière-du-Loup, (Québec) G5R 3Y9.

Berryman, D. et A. Nadeau, 1998. « La rivière Chaudière : contamination de l'eau par des métaux et certaines substances organiques toxiques », pages 3.1 à 3.37, dans ministère de l'Environnement et de la Faune (éd.), *Le bassin de la rivière Chaudière : l'état de l'écosystème aquatique — 1996*, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, envirodoq n° EN980022.

¹ : Auteur aux fins de correspondance.

RÉSUMÉ

Deux types de traceurs, la cellule à dialyse remplie d'hexane et la mousse aquatique *Fontinalis dalecarlica* ont été utilisés en 1994 pour examiner les apports potentiels de toxiques dans la rivière Chaudière. Un certain nombre de ces traceurs ont été placés à douze stations de mesure réparties le long de la rivière Chaudière, en amont et en aval des municipalités de Sainte-Hélène-de-Breakeyville, Beauceville, Saint-Georges, Saint-Ludger, Lac-Mégantic et également de Saint-Victor sur le Bras Saint-Victor, un tributaire de la rivière Chaudière. Après une période de temps, les mousses aquatiques ont été relevées et analysées pour déterminer les concentrations de métaux. Les cellules à dialyse ont permis de déterminer les apports des composés organiques semi-volatils et des acides gras et résiniques. De plus, BPC, pesticides organochlorés, dioxines et furannes ont été mesurés dans des mousses aquatiques placées à certaines stations de mesure.

On observe pour plusieurs métaux une hausse des concentrations de la station amont à la station aval de chacune des municipalités. Ces hausses n'ont statistiquement été significatives que pour l'aluminium à Beauceville. Douze composés organiques semi-volatils ont été détectés dans le bassin versant de la rivière Chaudière, dont quatre HAP et cinq phtalates. Ces

substances présentent des hausses de concentrations en aval de certains sites à l'étude, comme le pyrène à Lac-Mégantic et le di-n-butylphtalate à Saint-Victor. En aval de cette municipalité, où se trouve une entreprise du secteur du textile, des échantillons d'eau ont aussi révélé la présence de divers composés benzéniques. Saint-Ludger, où se trouve aussi une usine de textile, est une source d'aluminium, de chrome, de divers composés benzéniques et possiblement de BPC. D'autres études, réalisées en même temps que celle-ci, ont mis en lumière des impacts sur l'écosystème aquatique, notamment à Lac-Mégantic, Saint-Gédéon et Saint-Victor.

Mots clés : qualité de l'eau, suivi, surveillance, substances toxiques, traceurs de substances toxiques, mousses aquatiques, cellules à dialyse, métaux, mercure, BPC, HAP, pesticides organochlorés, acides gras et résiniques, composés organiques volatils, composés organiques semi-volatils, phtalates, substances phénoliques, Québec, rivière Chaudière.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	3.2
Matériel et méthodes.....	3.2
Localisation des stations de mesure.....	3.2
Échantillons d'eau.....	3.5
Traceurs.....	3.5
Cellules à dialyse.....	3.5
Mousses aquatiques.....	3.6
Analyses au laboratoire.....	3.6
Traitement des résultats.....	3.10
Résultats.....	3.10
Métaux.....	3.10
Biphényles polychlorés (BPC) et pesticides organochlorés.....	3.17
Dioxines et furannes chlorés.....	3.17
Composés organiques semi-volatils.....	3.20
Acides gras et résiniques.....	3.28
Échantillons d'eau.....	3.31
Conclusion et discussion.....	3.33
Lac Mégantic.....	3.33
Saint-Ludger.....	3.34
Saint-Georges.....	3.34
Beauceville.....	3.34
Sainte-Hélène-de-Breakeyville.....	3.34
Saint-Victor.....	3.34
Comparaison à d'autres cours d'eau.....	3.35
Remerciements.....	3.35
Références bibliographiques.....	3.35
Annexes	

INTRODUCTION

Le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF) a pour mission « d'assurer, dans une perspective de développement durable, la protection de l'environnement, la conservation et la mise en valeur de la faune et de ses habitats ». Il a le mandat d'élaborer et de mettre en oeuvre des politiques visant, entre autres, « la prévention, la réduction et l'élimination de la contamination de l'eau, de l'air et du sol » (MEF, 1997).

Des connaissances sur l'état de l'environnement sont nécessaires pour cibler efficacement les actions du Ministère et évaluer l'impact de ses politiques, programmes et règlements en matière d'assainissement. L'évaluation de la contamination des eaux de la rivière Chaudière par les substances toxiques s'inscrit dans cette optique. L'objectif de cette étude est de dresser un portrait de la contamination des eaux de la rivière Chaudière par un certain nombre de substances toxiques et plus particulièrement de vérifier l'importance de certains sites comme sources de ces substances.

Des échantillons d'eau ont été prélevés à divers endroits de la rivière au cours de l'été 1994. Mais l'analyse des substances toxiques dans l'eau comporte une difficulté majeure : ces substances se trouvent souvent à des concentrations inférieures aux limites de détection imposées par les méthodes usuelles d'échantillonnage et d'analyse en laboratoire. Malgré ces faibles teneurs, la charge polluante peut être suffisante pour porter atteinte aux organismes vivants et limiter les usages de l'eau. Une solution à ce problème est d'utiliser un « traceur », c'est-à-dire un dispositif capable de concentrer les substances toxiques jusqu'à des niveaux décelables et qui reflètent bien les apports de toxiques dans le milieu aquatique. Les sédiments et certains organismes vivants, comme les poissons ou les mollusques, sont des traceurs d'usage courant. Dans cette étude, des mousses aquatiques ont été utilisées pour le suivi des métaux, des BPC, des dioxines et des furannes chlorés. Des cellules à dialyse ont été utilisées pour la mesure des acides gras et résiniques et des composés organiques semi-volatils.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Localisation des stations de mesure

L'emplacement des stations de mesure a été établi en fonction des sources probables de toxiques dans le bassin versant de la rivière Chaudière. Les effluents liquides provenant des industries, les rejets domestiques, le ruissellement urbain, le lixiviat qui s'écoule des sites de déchets dangereux ou des sols contaminés, les apports diffus d'origine agricole (métaux et pesticides) et

les retombées de polluants atmosphériques sont autant de sources potentielles susceptibles de contaminer les eaux de surface.

La méthode des traceurs se prête peu à la détermination des sources de polluants agricoles et atmosphériques à cause du caractère diffus de ce type de rejets. Les principales autres sources potentielles du bassin, soit les industries les plus susceptibles de rejeter des substances toxiques et les sites contenant des déchets dangereux, sont identifiées dans les tableaux 1 et 2. Compte tenu de ces sources, les stations ont été placées en amont et en aval de six municipalités (figure 1) dans lesquelles on trouve certaines industries mentionnées au tableau 1. Cinq de ces municipalités bordent les rives de la rivière Chaudière, soit Lac-Mégantic, Saint-Ludger, Saint-Georges, Beauceville et Sainte-Hélène-de-Breakeyville. La sixième, Saint-Victor, se situe le long d'un tributaire de la rivière Chaudière, le Bras Saint-Victor (figure 1, tableau 3).

Tableau 1 Principaux établissements industriels susceptibles de rejeter des substances toxiques dans le bassin versant de la rivière Chaudière

Municipalité	Établissement	Secteur industriel
Lac Mégantic	Industries manufacturières Mégantic inc.	Industries du bois
	Énergex	Industries du bois
Saint-Ludger	C.S.M. Boisvert inc.	Textile
Beauceville	Plancher Beauceville inc.	Industries du bois
La Guadeloupe	Acrylique Le-Bo inc.	Chimie organique
La Guadeloupe	Dé lavage de Beauce inc.	Textile (lavage)
Saint-Éphrem-de-Beauce	Filature Lemieux inc.	Textile (filature)
Saint-Georges	Dominion Textiles inc.	Textile (filature)
Saint-Georges	Remdel inc.	Textile (teinturerie)
Saint-Georges	Manac inc.	Traitement de surface
Saint-Victor	Lainages Victor ltée	Textile
Saint-Gilles	Techno-Cuivre inc.	Produits métalliques
Sainte-Hélène-de-Breakeyville	Désencrage Cascades inc., division Rolland inc.	Pâtes et papiers

(Source : MEF, 1994)

Tableau 2 Lieux d'élimination des déchets dangereux dans le bassin versant de la rivière Chaudière

Nom	Numéro ¹	Catégorie ²	Localisation	Nature des déchets	Cheminement vers la Chaudière
Ancien dépotoir municipal de Lac-Drolet	05-28	III	Lac-Drolet	Déchets domestiques, teintures et solvants utilisés pour la fabrication de vêtements de cuir.	riv. Drolet
Dépôt en tranchées de Saint-Gédéon	03-42	III	Saint-Gédéon	Déchets domestiques, possiblement des boues de peinture et des solvants à haute concentration.	riv. Samson
Ancien dépotoir municipal de Saint-Gédéon	03-06	I	Saint-Gédéon	Déchets domestiques, boues de peinture, solvants à forte concentration, autres déchets industriels.	riv. Chaudière
Enfouissement sanitaire de Saint-Côme-de-Kennebec	03-10	III	Saint-Côme-Linière	Poussières de grenailage, filtres de peinture, boues de bassin de décapage et barils d'émulsion asphaltiques déstabilisés.	riv. Patrick, riv. du Loup
Dépotoir et sol contaminé de la cie Irénée Grondin et fils.	03-70	I	Saint-Zacharie	Barils ayant contenu du pentachlorophénol et toxiques provenant d'une usine de protection du bois.	ruisseau, lac des Abénaquis, riv. des Abénaquis, riv. Famine
Lagunes Hervé Poirier	03-05	III	Aubert-Gaillon	Boues de fosses septiques, huiles usées, autres.	riv. Pozer
Parc à résidus de la mine Québec Asbestos	03-56	III	Tring-Jonction	Résidus de mine d'amiante.	riv. du Cinq, Bras Saint-Victor

¹ Numéro du lieu d'élimination dans l'inventaire du ministère de l'Environnement et de la Faune.

² Catégorie de potentiel de risque pour la santé publique ou potentiel de risque pour l'environnement ou les deux :

- I : potentiel de risque élevé pour la santé publique ou potentiel de risque élevé pour l'environnement ou les deux;
 - II : potentiel de risque faible pour la santé publique ou potentiel de risque moyen pour l'environnement ou les deux;
 - III : aucun risque pour la santé publique ou potentiel de risque faible pour l'environnement ou les deux.
- (source : MENVIQ 1991a,b)

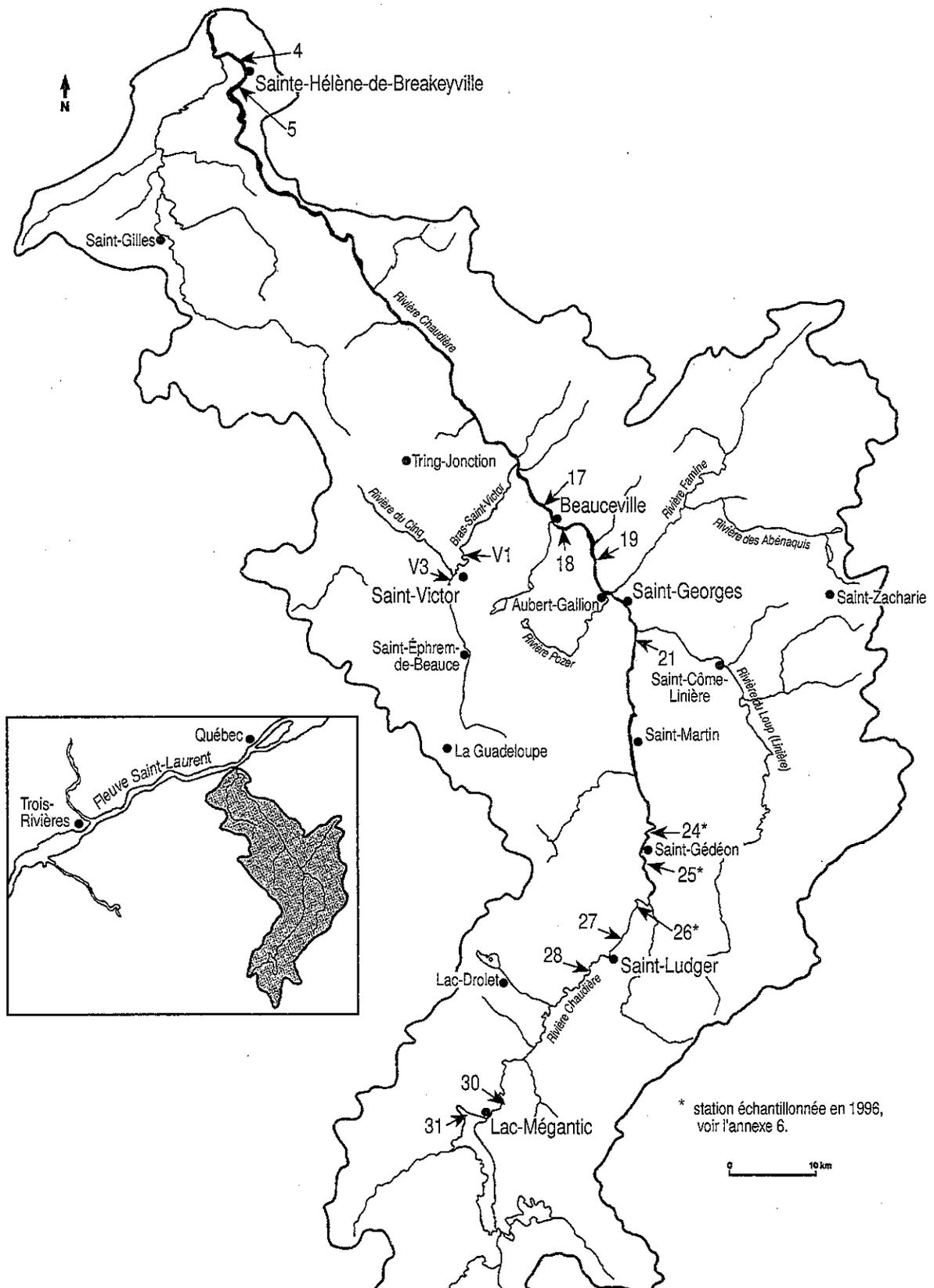


Figure 1 Localisation des stations de mesure dans le bassin versant de la rivière Chaudière

Tableau 3 Localisation des stations de mesure dans le bassin versant de la rivière Chaudière

Rivière	Station	km de l'embouchure	Localisation
Chaudière	4	9,3	en aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville
	5	13,5	en amont de Sainte-Hélène-de-Breakeyville
	17	81,0	en aval de Beauceville
	18	87,7	en amont de Beauceville
	19	97,3	en aval de Saint-Georges
	21	107,2	en amont de Saint-Georges
	27	149,6	en aval de Saint-Ludger
	28	158,3	en amont de Saint-Ludger
	30	182,5	en aval de Lac-Mégantic
	31	190,0	dans la baie des Sables du lac Mégantic
Bras Saint-Victor	V1		en aval de Saint-Victor
	V3		en amont de Saint-Victor

En comparant les concentrations mesurées en amont et en aval de ces municipalités, on peut vérifier si elles sont des sources de toxiques pour le cours d'eau. Des sources potentielles comme les retombées atmosphériques contribuent au bruit de fond et sont considérées comme ayant des contributions similaires aux stations en amont et en aval des sites étudiés.

Les stations en amont et en aval de ces municipalités ont été échantillonnées en 1994. La même année, Martel et Richard (1998) observent un impact important sur la communauté de poissons dans le secteur de Saint-Gédéon. Des mesures supplémentaires ont donc été faites, en 1996, pour vérifier la présence d'une source de contaminants dans ce secteur. On a placé des échantillons de mousses aquatiques en amont et en aval de Saint-Gédéon et en amont de l'ancien dépotoir de cette municipalité.

Ce dépotoir a reçu par le passé des déchets industriels et est classé comme un lieu d'élimination de déchets dangereux (tableau 2). Les résultats de cet échantillonnage font l'objet d'une analyse séparée que l'on trouve à l'annexe 6, mais dont les conclusions sont rapportées dans le corps du rapport.

Échantillons d'eau

Deux prélèvements d'eau ont été faits à toutes les stations, un premier entre les 18 et 20 juillet 1994 et le second entre les 12 et 14 septembre 1994. De plus, un troisième prélèvement a été fait le 16 août 1994 aux

stations en amont et en aval de Saint-Victor (stations V1 et V3). L'eau était échantillonnée en plongeant des bouteilles Sovirel® de 1 litre à quelques centimètres sous la surface. Dans le cas des phénols, 1,5 ml de H₂SO₄ 9N agissant à titre d'agent de conservation a été ajouté dans la bouteille Sovirel®.

Placées dans des glacières remplies de glace, les bouteilles d'eau ont été transportées, puis analysées, au laboratoire du MEF à Sainte-Foy. L'extraction préalable à l'analyse proprement dite a été réalisée à l'intérieur d'un délai de sept jours après l'échantillonnage. Les méthodes d'analyse sont décrites à l'annexe 1.

Traceurs

Les mousses aquatiques sont couramment utilisées en France pour le suivi des métaux, remplaçant les mesures directes dans l'eau (Mouvet, 1991). Elles ont aussi été utilisées dans plusieurs autres pays d'Europe et d'Asie (Aulio, 1985; Burton, 1990; Goncalves et collab., 1992; Satake et Nishikawa, 1990, Say et collab., 1981, Soderlund et collab., 1988). Les cellules à dialyse ont été utilisées en Suède (Sodergren, 1987, 1990), en Finlande (Herve et collab., 1991), aux États-Unis (Huckins et collab., 1990; Petty et collab., 1995; Mackay et collab., 1996; Hofelt et Shea, 1996; Huckins et collab., 1996; Huff et collab., 1996; Lefkovitz et Crecelius, 1996; Whyte et collab., 1996; Crecelius et collab., 1996) et au Canada (Birkolz et collab., 1996; Parrot et collab., 1996a et 1996b) pour évaluer la qualité des eaux de surface.

Au Québec, les mousses aquatiques et les cellules à dialyse ont été utilisées pour caractériser l'état des rivières Saint-Maurice, l'Assomption, Saint-François, Châteauguay, Chaudière, Yamaska et Richelieu (Berryman, 1991, 1993, 1996a, 1996b; présente étude et rapports à venir).

Cellules à dialyse

Les cellules à dialyse sont des tubes souples de cellulose Spectra-Por® numéro 6, de 18 mm de diamètre, remplis de 20 ml d'hexane. Cette membrane de cellulose laisse passer les substances chimiques d'un poids moléculaire inférieur à 1 000.

Pour l'exposition en rivière, les cellules à dialyse sont placées dans des cages rectangulaires de 20 cm de côté par 30 cm de haut, en treillis métallique. Chaque cage contient quatre cellules à dialyse. Les cages sont attachées à des blocs de ciment et mouillées dans environ un demi-mètre d'eau en bordure du cours d'eau. Deux cages ont été déposées à chaque station de mesure, entre les 18 et 20 juillet 1994.

Les cellules ont été relevées les 1^{er} et 2 août. Elles ont été placées dans des bocaux remplis d'eau de la rivière que l'on fermait d'un couvercle muni d'une pellicule de téflon. Au laboratoire, l'hexane des cellules a été prélevé à l'aide d'une pipette et transvidé dans des petites fioles de verre munies d'un septum au téflon. Ces fioles étaient conservées au réfrigérateur jusqu'au moment de leur analyse chimique.

Les cellules à dialyse n'ont pas toutes fait l'objet d'analyse chimique car certaines se sont brisées. On a toutefois recueilli, à toutes les stations, le contenu de trois cellules à dialyse provenant d'une première cage et de deux cellules provenant de la seconde.

Mousses aquatiques

Des échantillons de la mousse aquatique *Fontinalis dalercaulica* ont été récoltés dans la rivière Cachée, dans la Réserve faunique des Laurentides, à 30 km au nord de Québec. Les rameaux portant du feuillage ont été placés dans des sachets faits de treillis de plastique dont la maille est de 1 cm par 1 cm, conformément à la méthode mise au point et largement utilisée en Europe (Mouvet, 1986).

Deux sachets de mousses aquatiques ont été fixés sur les côtés extérieurs de chacune des cages contenant les cellules à dialyse. Ils ont été mouillés en même temps que ces dernières, soit entre les 18 et 20 juillet 1994.

Les sachets de mousses aquatiques ont été relevés les 15 et 16 août. Ils ont d'abord été rincés vigoureusement dans l'eau de la rivière pour les débarrasser des

sédiments et autres particules étrangères. Ils ont ensuite été séchés à l'air libre, le soir même, pendant trois à quatre heures avant d'être placés dans des enveloppes de papier. Au laboratoire, les mousses aquatiques ont été réhydratées, puis rincées cinq fois dans deux litres d'eau déminéralisée pour enlever complètement les sédiments qui y adhéraient encore. Séchées à nouveau, elles ont été conservées dans des enveloppes de papier jusqu'au moment de leur analyse chimique.

Des sachets supplémentaires ont été placés aux stations en amont et en aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville. Ces mousses étaient destinées à l'analyse des dioxines et furannes chlorés, des BPC et des pesticides organochlorés.

Analyses au laboratoire

Les mousses aquatiques de toutes les stations ont été analysées pour leur contenu en métaux. Les biphényles polychlorés (BPC), les pesticides organochlorés de même que les dioxines et furannes chlorés ont été analysés aux stations en amont et en aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville (stations 4 et 5). Les cellules à dialyse ont été analysées pour déterminer les concentrations de plusieurs composés organiques semi-volatils de même que d'acides gras et résiniques. Les échantillons d'eau ont été analysés pour les mêmes substances que les cellules à dialyse et également pour les composés organiques volatils et les substances phénoliques chlorées. Le tableau 4 donne le nombre de prélèvements faits à chaque station et le tableau 5 donne la liste complète des substances analysées dans les échantillons d'eau et dans les traceurs.

Tableau 4 Nombre d'échantillons prélevés et analysés à chaque station de mesure dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor

Station	Mousses aquatiques			Cellules à dialyse		Échantillons d'eau			
	BPC et pesticides chlorés	Dioxines et furannes chlorés	Métaux	Composés organiques semi-volatils	Acides gras et résiniques	Composés organiques volatils	Composés organiques semi-volatils	Phénols et phénols chlorés	Acides gras et résiniques
4	3	3	4	5	5	2	2	2	2
5	3	3	4	5	5	2	2	2	2
17			4	5	5	2	2	2	2
18			4	5	5	2	2	2	2
19			4	5	5	2	2	2	2
21			4	5	5	2	2	2	2
27			4	5	5	2	2	2	2
28			4	5	5	2	2	2	2
30			4	5	5	2	2	2	2
31			4	5	5	2	2	2	2
VI			4	5	5	3	3	3	3
V3			4	5	5	3	3	3	3

Tableau 5 Liste des substances toxiques analysées avec les limites de détection

Substance	Mousses aquatiques	Cellules à dialyse	Eau	Substance	Mousses aquatiques	Cellules à dialyse	Eau
<u>Métaux</u>				<u>Furannes chlorés¹ (suite)</u>			
Aluminium	1 mg/kg			23478-P5CDF	0,1 à 0,5 pg/g		
Cadmium	0,5 mg/kg			123478-H6CDF	0,1 à 1 pg/g		
Chrome	0,5 mg/kg			123678-H6CDF	0,1 à 0,9 pg/g		
Cuivre	0,5 mg/kg			234678-H6CDF	0,1 à 1 pg/g		
Fer	0,5 mg/kg			123789-H6CDF	0,1 à 1 pg/g		
Magnésium	5 mg/kg			1234678-H7CDF	0,1 à 1 pg/g		
Manganèse	0,5 mg/kg			1234789-H7CDF	0,1 à 1 pg/g		
Mercuré	0,03 mg/kg			OCDF	0,1 à 0,3 pg/g		
Nickel	0,5 mg/kg			<u>Furannes homologues¹</u>			
Plomb	1 mg/kg			T4CDF	0,7 pg/g		
Vanadium	0,5 mg/kg			P5CDF	0,1 à 0,5 pg/g		
Zinc	0,5 mg/kg			H6CDF	0,1 à 0,9 pg/g		
<u>BPC</u>				H7CDF	0,1 à 1 pg/g		
Arochlor 1254	80 µg/kg			<u>Acides gras et résiniques</u>			
<u>Pesticides organochlorés</u>				Acide palmitique		1 µg/l	
Alpha-BHC	2 µg/kg			Acide palmitoléique		1 µg/l	2 µg/l
HCB	2 µg/kg			Acide linoléique		2 µg/l	4 µg/l
Beta-BHC	5 µg/kg			Acide linoléénique		2 µg/l	4 µg/l
Lindane	2 µg/kg			Acide oléique		2 µg/l	4 µg/l
Heptachlore	2 µg/kg			Acide stéarique		2 µg/l	4 µg/l
Aldrine	3 µg/kg			Acide pimarique		1 µg/l	1 µg/l
Époxyde d'heptachlor	3 µg/kg			Acide sandaracopimarique		1 µg/l	1 µg/l
p,p'-DDE	4 µg/kg			Acide isopimarique		1 µg/l	1 µg/l
p,p'-TDE	7 µg/kg			Acide palustrique + lévopimarique		1 µg/l	1 µg/l
p,p'-DDT	8 µg/kg			Acide déhydroabiétique		1 µg/l	1 µg/l
Méthoxychlore	15 µg/kg			Acide abiétique		2 µg/l	2 µg/l
Mirex	10 µg/kg			Acide néoabiétique		1 µg/l	2 µg/l
Gamma-chlordane	5 µg/kg			Acide 9,10-dichlorostéarique		1 µg/l	1 µg/l
Endosulfan-I	6 µg/kg			Acide chlorodéhydroabiétique		2 µg/l	4 µg/l
Alpha-chlordane	5 µg/kg			Acide dichlorodéhydroabiétique		1 µg/l	2 µg/l
Endosulfan-II	7 µg/kg			<u>Substances phénoliques</u>			
<u>Dioxines chlorées¹</u>				Phénol			0,4 µg/l
2378-TCDD	0,1 à 0,9 pg/g			o-crésol			0,2 µg/l
12378-P5CDD	0,1 à 1 pg/g			m-crésol			0,2 µg/l
123478-H6CDD	0,1 à 0,8 pg/g			p-crésol			0,2 µg/l
123678-H6CDD	0,1 à 0,6 pg/g			2-chlorophénol			0,2 µg/l
123789-H6CDD	0,1 à 0,7 pg/g			3-chlorophénol			0,2 µg/l
1234678-H7CDD	0,1 pg/g			4-chlorophénol			0,2 µg/l
OCDD	0,1 à 0,7 pg/g			2,4-diméthylphénol			0,2 µg/l
<u>Dioxines homologues¹</u>				2,6-dichlorophénol			0,2 µg/l
T4CDD	0,1 à 0,9 pg/g			4-chloro,3-méthylphénol			0,2 µg/l
P5CDD	0,1 à 1 pg/g			{ 2,4-dichlorophénol + 2,5-dichlorophénol			0,2 µg/l
H6CDD	0,1 à 0,6 pg/g				3,5-dichlorophénol		
H7CDD	0,1 pg/g			2,3-dichlorophénol			0,2 µg/l
<u>Furannes chlorés¹</u>				2-nitrophénol			0,5 µg/l
2378-T4CDF	0,2 à 0,7 pg/g						
12378-P5CDF	0,1 à 0,5 pg/g						

1 : Limite de détection variable selon la masse de l'échantillon.

Tableau 5 (suite) Liste des substances toxiques analysées avec les limites de détection

Substance	Mousses aquatiques	Cellules à dialyse	Eau	Substance	Mousses aquatiques	Cellules à dialyse	Eau
<u>Substances phénoliques (suite)</u>				<u>Composés organiques semi-volatils (suite)</u>			
3,4-dichlorophénol			0,2 µg/l	Dibenzofuranne		0,1 µg/l	0,05 µg/l
2,4,6-trichlorophénol			0,2 µg/l	2,4-dinitrotoluène		1 µg/l	0,5 µg/l
4-nitrophénol			2 µg/l	Diéthylphtalate		0,2 µg/l	0,1 µg/l
2,3,6-trichlorophénol			0,2 µg/l	Fluorène		0,1 µg/l	0,05 µg/l
2,3,5-trichlorophénol			0,2 µg/l	4-chlorophénylphényl éther		1 µg/l	0,5 µg/l
2,4,5-trichlorophénol			0,2 µg/l	2,4-dinitrophénol		30 µg/l	15 µg/l
2,3,4-trichlorophénol			0,2 µg/l	4-nitrophénol		4 µg/l	2 µg/l
3,4,5-trichlorophénol			0,2 µg/l	4-nitroaniline		3 µg/l	1,5 µg/l
2,3,5,6-tétrachlorophénol			0,2 µg/l	2-méthyl-4,6-dinitrophénol		4 µg/l	2 µg/l
2,3,4,6-tétrachlorophénol			0,2 µg/l	N-nitrosodiphénylamine		4 µg/l	2 µg/l
2,3,4,5-tétrachlorophénol			0,2 µg/l	Azobenzène		0,6 µg/l	0,3 µg/l
pentachlorophénol			0,2 µg/l	4-bromophénylphényl éther		0,2 µg/l	0,1 µg/l
<u>Composés organiques semi-volatils</u>				<u>Composés organiques volatils</u>			
Phénol	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Hexachlorobenzène		0,2 µg/l	0,1 µg/l
Aniline	1 µg/l		0,5 µg/l	Pentachlorophénol		4 µg/l	2 µg/l
Bis(2-chloroéthyl)éther	0,4 µg/l		0,2 µg/l	Phénanthrène		0,2 µg/l	0,1 µg/l
2-chlorophénol	0,6 µg/l		0,3 µg/l	Anthracène		0,2 µg/l	0,1 µg/l
1,3-dichlorobenzène	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Di-N-butylphtalate		4 µg/l	2 µg/l
1,4-dichlorobenzène	1 µg/l		0,5 µg/l	Fluoranthène		0,2 µg/l	0,1 µg/l
Benzyl alcool	1 µg/l		0,5 µg/l	Pyrène		0,2 µg/l	0,1 µg/l
1,2-dichlorobenzène	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Butylbenzylphtalate		4 µg/l	2 µg/l
2-méthylphénol	1 µg/l		0,5 µg/l	Benzo(a)anthracène		0,4 µg/l	0,2 µg/l
Bis(2-chloroisopropyl)éther	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Chrysène		0,6 µg/l	0,3 µg/l
4-méthylphénol	1 µg/l		0,5 µg/l	Bis(2-éthylhexyl)phtalate		2 µg/l	1 µg/l
N-nitrosodi-n-propylamine	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Di-N-octylphtalate		2 µg/l	1 µg/l
Hexachloroéthane	2 µg/l		1 µg/l	Benzo(b)fluoranthène		0,1 µg/l	0,05 µg/l
Nitrobenzène	0,6 µg/l		0,3 µg/l	Benzo(k)fluoranthène		0,1 µg/l	0,05 µg/l
Isophorone	2 µg/l		1 µg/l	Benzo(a)pyrène		0,2 µg/l	0,1 µg/l
2-nitrophénol	2 µg/l		1 µg/l	Indéno(1,2,3-cd)pyrène		0,4 µg/l	0,2 µg/l
2,4-diméthylphénol	1 µg/l		0,5 µg/l	Dibenzo(a,h)anthracène		1 µg/l	0,5 µg/l
Bis(2-chloroéthoxy)méthane	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Benzo(g,h,i)pérylène		0,6 µg/l	0,3 µg/l
2,4-dichlorophénol	2 µg/l		1 µg/l	2,6-dinitrotoluène		4 µg/l	2 µg/l
1,2,4-trichlorobenzène	0,2 µg/l		0,1 µg/l	<u>Composés organiques volatils</u>			
Naphtalène	0,1 µg/l		0,05 µg/l	1,1-dichloroéthylène			0,2 µg/l
4-chloroaniline	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Dichlorométhane			1 µg/l
Hexachlorobutadiène	0,4 µg/l		0,2 µg/l	Trans 1,2-dichloroéthylène			0,1 µg/l
4-chloro-3-méthylphénol	2 µg/l		1 µg/l	1,1-dichloroéthane			0,1 µg/l
2-méthylnaphtalène	0,1 µg/l		0,05 µg/l	Chloroforme			0,2 µg/l
Hexachlorocyclopentadiène	1 µg/l		0,5 µg/l	1,1,1-trichloroéthane			0,05 µg/l
2,4,6-trichlorophénol	2 µg/l		1 µg/l	Tétrachlorure de carbone			0,05 µg/l
2,4,5-trichlorophénol	2 µg/l		1 µg/l	Benzène			0,05 µg/l
2-chloronaphtalène	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Trichloroéthylène			0,05 µg/l
2-nitroaniline	3 µg/l		1,5 µg/l	1,2-dichloropropane			0,05 µg/l
Diméthylphtalate	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Bromodichlorométhane			0,05 µg/l
Acénaphtylène	0,1 µg/l		0,05 µg/l	Cis 1,3-dichloropropène			0,05 µg/l
3-nitroaniline	0,2 µg/l		0,1 µg/l	Toluène			0,1 µg/l
Acénaphène	1 µg/l		0,5 µg/l	Trans 1,3-dichloropropène			0,05 µg/l
				1,1,2-trichloroéthane			0,05 µg/l

Tableau 5 (suite) Liste des substances toxiques analysées avec les limites de détection

Substance	Mousses aquatiques	Cellules à dialyse	Eau
<i><u>Composés organiques volatils (suite)</u></i>			
Tétrachloroéthylène			0,05 µg/l
Dibromochlorométhane			0,05 µg/l
Chlorobenzène			0,05 µg/l
Éthylbenzène			0,05 µg/l
p,m-xylène			0,05 µg/l
o-xylène			0,05 µg/l
Bromoforme			0,1 µg/l
Isopropylbenzène			0,05 µg/l
1,1,2,2-tétrachloroéthane			0,05 µg/l
N-propylbenzène			0,05 µg/l
2-chlorotoluène			0,05 µg/l
4-chlorotoluène			0,05 µg/l
Ter-butylbenzène			0,03 µg/l
Sec-butylbenzène			0,05 µg/l
1,3-dichlorobenzène			0,05 µg/l
1,4-dichlorobenzène			0,05 µg/l
1,2-dichlorobenzène			0,05 µg/l
Trichlorofluorométhane			1 µg/l
1,2-dichloroéthane			0,05 µg/l
**chlorure de vinyl			0,5 µg/l
Cis-1,2-dichloroéthylène			0,05 µg/l
Dibromométhane			0,1 µg/l
1,2-dibromométhane			0,05 µg/l
Styrène			0,05 µg/l
1,2,3-trichloropropane			0,1 µg/l
Bromobenzène			0,05 µg/l
1,3,5-triméthylbenzène			0,02 µg/l
1,2,4-triméthylbenzène			0,02 µg/l
P-isopropyltoluène			0,05 µg/l
N-butylbenzène			0,03 µg/l
1,2-dibromo-3-chloropropane			0,2 µg/l
1,2,4-trichlorobenzène			0,05 µg/l
Naphtalène			0,05 µg/l
Hexachlorobutadiène			0,05 µg/l
1,2,3-trichlorobenzène			0,05 µg/l
2,2-dichloropropane			0,1 µg/l
Dichlordifluorométhane			0,5 µg/l
1,1-dichloropropène			0,1 µg/l
1,3-dichloropropane			0,1 µg/l
1,1,1,2-tétrachloroéthane			0,1 µg/l
2-éthylhexanal			0,05 µg/l

Toutes les analyses ont été effectuées aux laboratoires du ministère de l'Environnement et de la Faune. Les méthodes d'analyse sont décrites sommairement à l'annexe 1.

Traitement des résultats

Les concentrations mesurées de plusieurs toxiques se trouvent sous le seuil de détection des appareils de laboratoire. C'est le cas de la presque totalité des mesures effectuées sur les échantillons d'eau.

Quant aux résultats de cellules à dialyse et de mousses aquatiques, une analyse de variance a été faite à l'aide de la procédure GLM du progiciel SAS (S.A.S. Institute, 1989) pour les substances dont on décelait au moins une valeur au-dessus de la limite de détection. Une valeur égale à la moitié de la limite de détection a été attribuée aux valeurs inférieures à la limite de détection pour pouvoir les inclure dans le traitement statistique.

Les stations dont les teneurs mesurées sont toutes sous le seuil de détection génèrent une variance nulle, alors que celles où les teneurs sont élevées amènent une forte variance. Pour ces raisons, une transformation logarithmique a été faite sur toutes les données. Cette transformation ne peut qu'aider à réduire l'hétérogénéité des variances même si elle n'était pas absolument nécessaire pour certaines substances.

Le modèle de variance qui s'applique au plan d'échantillonnage utilisé est un modèle hiérarchisé (« nested design » en anglais) puisque les mesures dans les stations dépendent de la variabilité entre les cages et de celles entre les traceurs à l'intérieur de chaque cage.

Dans l'analyse de la variance, la première source de variation constitue l'erreur expérimentale et la seconde source, l'erreur d'échantillonnage. Les différences statistiquement significatives entre les stations se testent sur l'erreur expérimentale, et la validité des tests de Fisher dépend de l'homogénéité de l'erreur d'échantillonnage entre les stations. Une analyse de variance faite sur les valeurs résiduelles du modèle constituant l'erreur expérimentale (test d'homogénéité de Levene) permet de vérifier si l'erreur d'échantillonnage est homogène entre les stations. Pour toutes les substances chimiques analysées, la variance entre les stations n'était pas homogène. Ceci n'est pas surprenant puisque dans les stations où une substance n'est pas décelée, la variance est nulle alors que dans d'autres stations où la substance est présente, la variance est très forte. Mais cette violation du postulat d'homogénéité de la variance ne conduit pas nécessairement à une violation d'interprétation des résultats. Conover (1980) explique que dans de tels cas

une analyse de variance sur les rangs des données doit être faite et si les résultats sont similaires à l'analyse de variance sur les données métriques, il conclut que la violation du postulat de l'analyse de variance n'a pas conduit à une violation dans l'interprétation des résultats et que l'analyse de variance paramétrique est valide. Dans les cas où les résultats diffèrent, il faut interpréter les résultats à partir de l'analyse de variance sur les rangs. Les résultats entre les deux types d'analyses de variance ne diffèrent que pour deux substances : le mercure et le phénanthrène. Pour ces substances, l'analyse de variance sur les rangs des données a donc servi à l'interprétation des différences entre les stations.

Les comparaisons multiples entre stations ont été faites à l'aide du test de Tukey-Kramer disponible dans la procédure GLM de SAS (S.A.S. Institute, 1989). Le test de Tukey est très conservateur et permet de limiter l'erreur globale α à 0,05 pour l'ensemble des comparaisons faites. Par contre, ce test a un taux élevé d'erreur de type II, c'est-à-dire qu'il ne détecte pas toujours une différence, alors que dans les faits elle existe.

Les comparaisons multiples ont permis de vérifier les différences entre les stations en amont et en aval d'une municipalité. Une station en aval ayant une hausse statistiquement significative par rapport à celle en amont révèle un apport de toxiques. Les comparaisons peuvent également se faire entre certains tronçons de rivière pour savoir s'il existe des sources insoupçonnées de toxiques ou encore vérifier si les substances s'accumulent de l'amont à l'aval de la rivière. Finalement, pour certaines substances, des comparaisons qualitatives sont faites avec les résultats obtenus sur d'autres cours d'eau du Québec où la technique des mousses aquatiques a été employée.

RÉSULTATS

Métaux

Les résultats complets de l'analyse des métaux dans les mousses aquatiques sont présentés à l'annexe 2. Les valeurs moyennes à chaque station, avec leur erreur type, sont présentées au tableau 6. Les figures 2 et 3 illustrent ces concentrations moyennes dans des graphiques où les stations de la rivière Chaudière sont placées sur l'axe horizontal, de part et d'autre des six sites à l'étude.

Dans le cas du plomb et du zinc, l'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative ($\alpha = 0,05$) entre les concentrations obtenues aux différentes stations

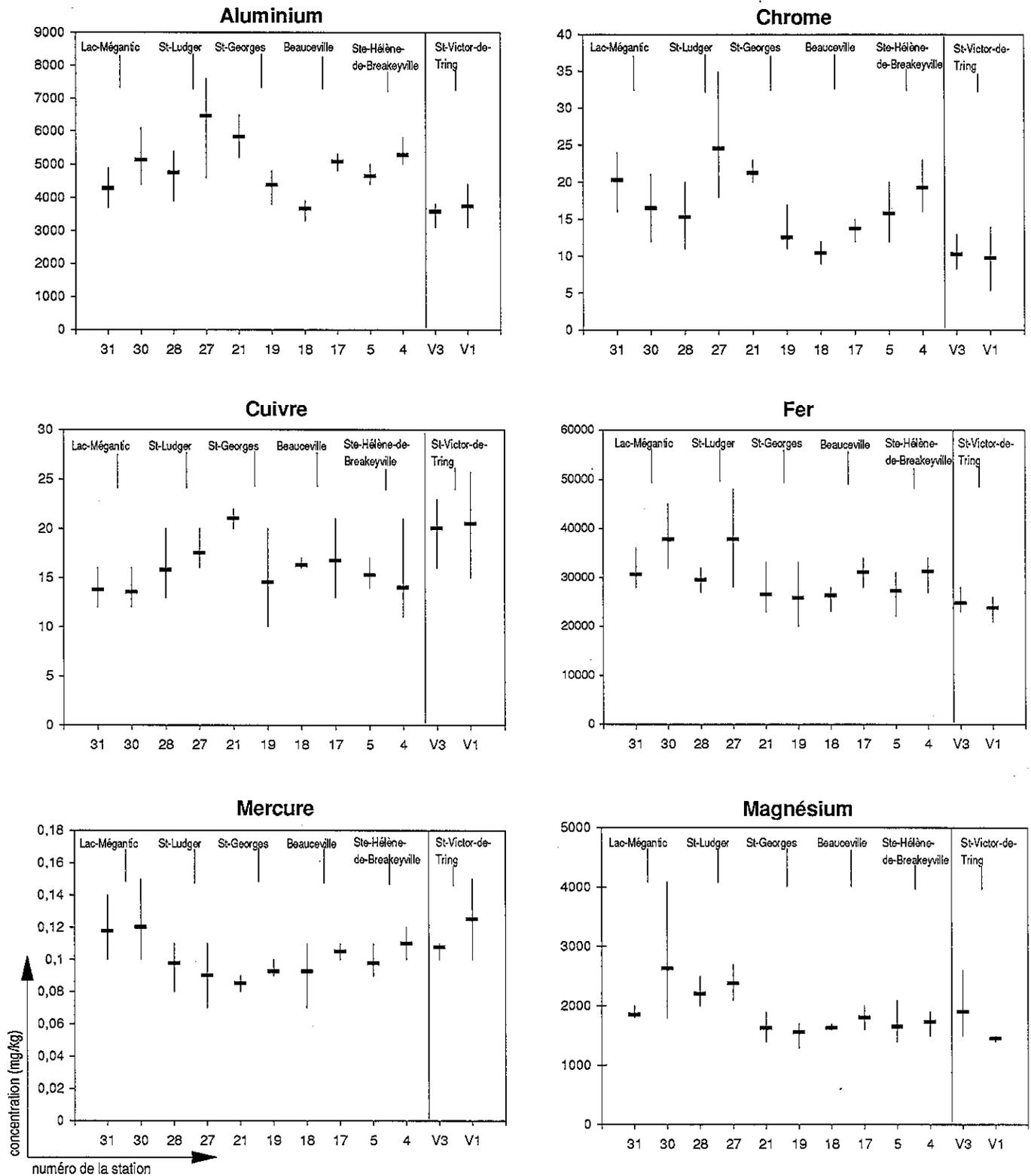


Figure 2 Concentrations de métaux dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor; minimum, maximum et moyenne de quatre mesures par station.

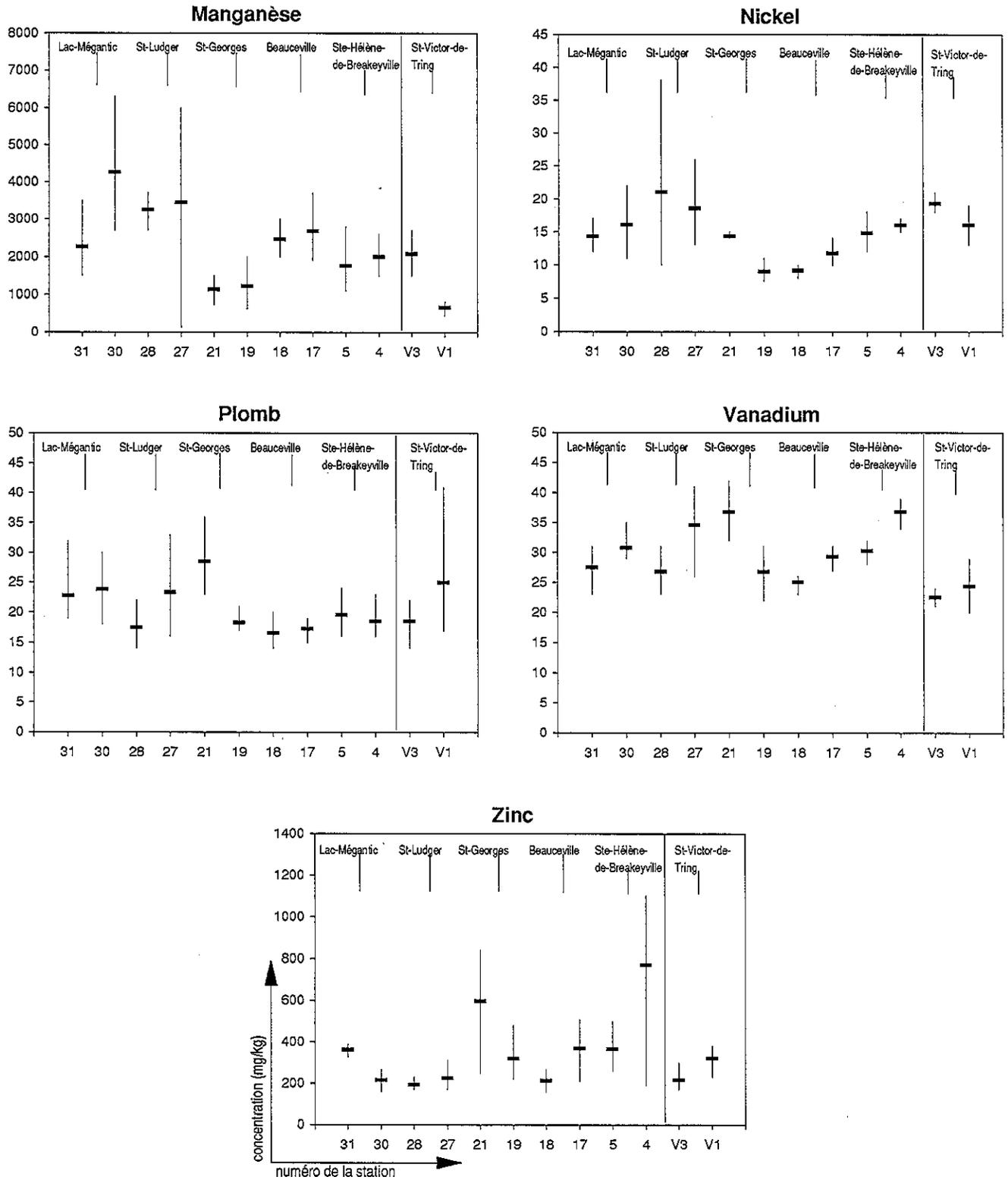


Figure 3 Concentrations de métaux dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor; minimum, maximum et moyenne de quatre mesures par station.

Tableau 6 Moyennes (mg/kg) et erreurs standards (entre parenthèses) des concentrations de métaux dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor

Métal	Station											
	4	5	17	18	19	21	27	28	30	31	V1	V3
Aluminium	5275,0 (188,7)	4650,0 (150,0)	5075,0 (110,9)	3650,0 (132,3)	4375,0 (232,3)	5825,0 (278,0)	6450,0 (705,3)	4750,0 (317,5)	5125,0 (356,8)	4275,0 (283,9)	3725,0 (278,0)	3575,0 (165,2)
Chrome	19,3 (1,4)	15,8 (1,7)	13,8 (0,8)	10,4 (0,7)	12,5 (1,5)	21,3 (0,6)	24,5 (4,0)	15,3 (2,0)	16,5 (1,8)	20,3 (2,2)	9,8 (2,0)	10,3 (1,1)
Cuivre	14,0 (2,4)	15,3 (0,8)	16,8 (1,9)	16,3 (0,3)	14,5 (2,1)	21,0 (0,4)	17,5 (0,9)	13,5 (0,9)	13,8 (1,0)	13,8 (1,0)	20,5 (3,1)	20,0 (1,6)
Fer	31250 (1493,0)	27250 (1887,5)	31000 (1291,0)	26250 (1181,5)	25750 (2719,5)	26500 (2254,6)	37750 (4130,7)	29500 (1443,4)	37750 (2719,5)	30500 (1893,0)	23750 (1108,7)	24750 (1181,5)
Magnésium	1725,0 (85,4)	1650,0 (155,5)	1800,0 (91,3)	1625,0 (25,0)	1550,0 (86,6)	1625,0 (103,1)	2375,0 (160,1)	2200,0 (108,0)	2625,0 (520,2)	1850,0 (50,0)	1450,0 (28,9)	1900,0 (248,3)
Manganèse	2000,0 (267,7)	1750,0 (392,6)	2675,0 (400,8)	2450,0 (263,0)	1210,0 (310,5)	1130,0 (160,9)	3432,5 (1283,5)	3250,0 (263,0)	4250,0 (750,0)	2250,0 (450,0)	650,0 (82,6)	2075,0 (332,6)
Mercure	0,110 (0,004)	0,098 (0,005)	0,105 (0,003)	0,093 (0,010)	0,093 (0,003)	0,085 (0,003)	0,090 (0,009)	0,098 (0,006)	0,120 (0,011)	0,118 (0,009)	0,125 (0,010)	0,108 (0,003)
Nickel	16,0 (0,4)	14,8 (1,4)	11,8 (0,9)	9,1 (0,4)	9,0 (0,8)	14,3 (0,3)	18,5 (2,7)	21,0 (6,4)	16,0 (2,3)	14,3 (1,1)	16,0 (1,5)	19,3 (0,6)
Plomb	18,5 (1,6)	19,5 (1,7)	17,3 (0,9)	16,5 (1,3)	18,3 (0,9)	28,5 (3,1)	23,3 (3,6)	17,5 (1,7)	23,8 (3,1)	22,8 (3,1)	25,0 (5,4)	18,5 (1,7)
Vanadium	36,8 (1,3)	30,3 (0,9)	29,3 (1,0)	25,0 (0,7)	26,8 (2,0)	36,8 (2,1)	34,5 (3,2)	26,8 (1,9)	30,8 (1,4)	27,5 (1,8)	24,3 (1,9)	22,5 (0,6)
Zinc	770,0 (203,8)	365,0 (49,9)	367,5 (63,0)	212,5 (22,9)	320,0 (61,0)	597,5 (124,8)	222,5 (32,0)	190,0 (13,5)	215,0 (23,3)	362,5 (12,5)	320,0 (32,4)	215,0 (29,0)

(tableau 7). La figure 4 montre les résultats des comparaisons multiples entre les stations (test de Tukey-Kramer) pour les autres métaux, à l'exception du mercure et du magnésium, qui seront discutés plus loin.

Tableau 7 Niveaux de probabilité statistique du ratio F obtenus de l'analyse de variance sur les métaux

Métal	Niveau de probabilité ¹
Aluminium	0,0002
Chrome	0,0009
Cuivre	0,0030
Fer	0,0011
Mercure	0,0394²
Magnésium	0,0403
Manganèse	0,0232
Nickel	0,0004
Plomb	0,2123
Vanadium	0,0016
Zinc	0,1859

¹Caractères gras : $\alpha < 0,05$.

²Résultat de l'analyse de variance sur les rangs.

Comparaison des concentrations entre l'amont et l'aval des six sites à l'étude

Les figures 2 et 3 montrent que les concentrations mesurées sont souvent un peu plus élevées en aval qu'en amont des six sites à l'étude. Cependant, le seul cas où il y a une différence significative est celui de l'aluminium à Beauceville (figure 4). On y observe une hausse de 39 % des concentrations. On trouve dans cette ville une fabrique de bois à planchers (Plancher Beauceville inc.), mais ce type d'entreprise n'est pas reconnu comme ayant des rejets importants d'aluminium. L'origine exacte de cette hausse d'aluminium est inconnue. Il s'agit peut-être du traitement des eaux usées de la municipalité, qui utilise de l'alun pour la déphosphatation.

Le tableau 8 présente, en pourcentage, les différences de concentrations obtenues entre l'amont et l'aval de chacun des six sites. Le constat général qui se dégage de ce tableau est le suivant :

- dans une nette majorité des cas (45 sur 66, ou 68 %), les concentrations mesurées en aval sont plus élevées qu'en amont;
- c'est principalement à Saint-Georges et Saint-Victor que se concentrent les cas où, à l'inverse, les concentrations diminuent; aux quatre autres sites, c'est 38 cas sur 44 (86 %) qui présentent une hausse;
- cependant, les pourcentages d'augmentation des concentrations dépassent rarement 50 %.

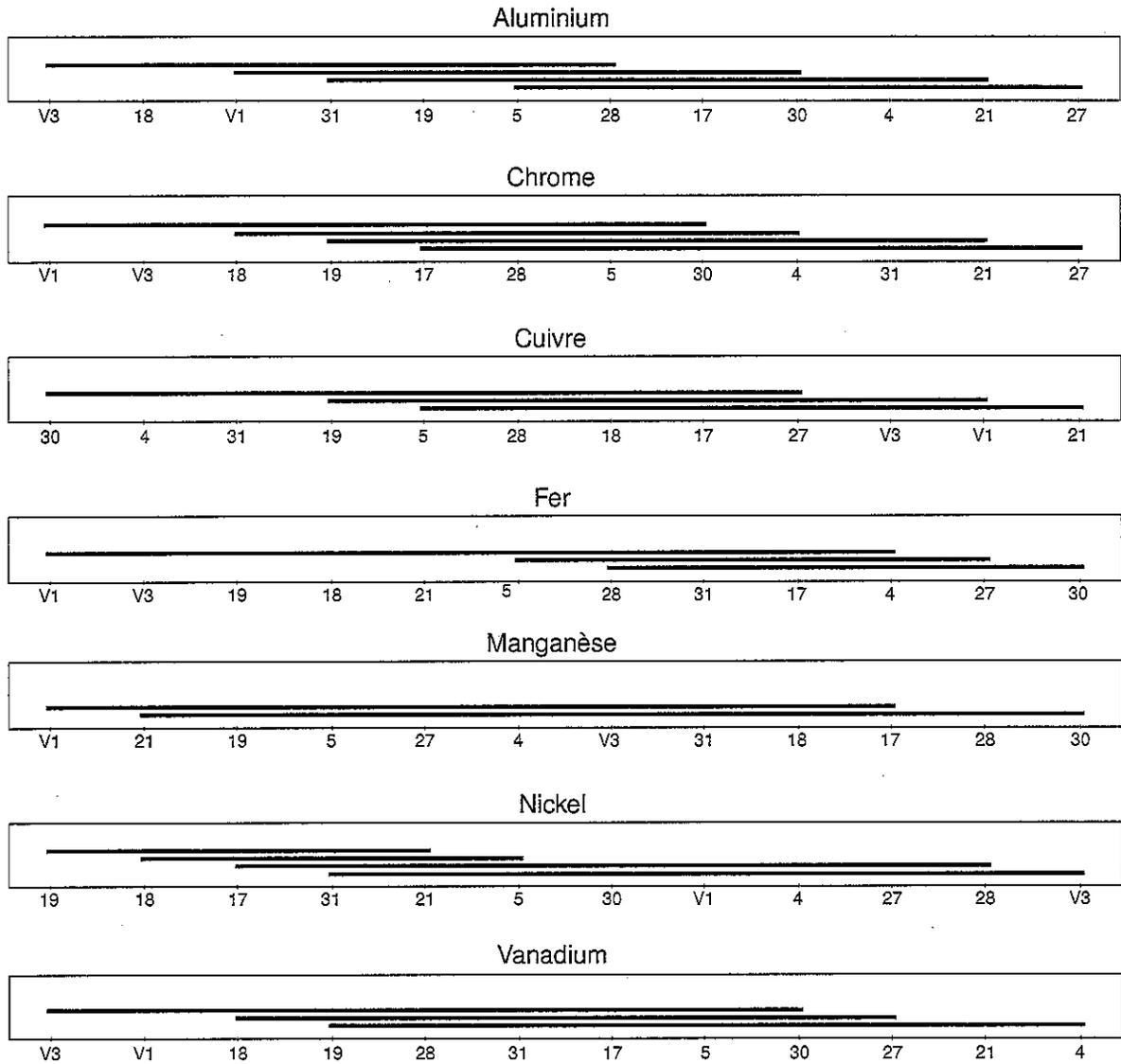
Tableau 8 Différence (%) des concentrations moyennes de métaux entre l'aval et l'amont des six sites à l'étude

Site	Station		Métal										
	aval	amont	Al	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Ste-Hélène-de-Breakeyville	4	5	13	22	-8	15	13	5	14	8	-5	21	111
Beauceville	17	18	39	32	3	18	14	11	9	29	5	17	73
Saint-Georges ¹	19	21	-25	-41	-31	-3	9	-5	7	-37	-36	-27	-46
Saint-Ludger	27	28	36	61	11	28	-8	8	6	-12	33	29	17
Lac-Mégantic	30	31	20	-19	-2	24	2	42	89	12	4	12	-41
St-Victor-de-Tring ¹	V1	V3	4	-5	3	-4	16	-24	-69	-17	35	8	49

¹ Dilution par l'arrivée d'au moins un tributaire important entre les stations amont et aval.

Note : Les chiffres en caractères gras représentent des hausses statistiquement significatives ($\alpha = 0,05$).

Note : Une valeur positive indique une augmentation des concentrations de l'amont à l'aval, une valeur négative indique une diminution.



Note : Les stations reliées par une ligne ont des concentrations moyennes qui ne sont pas statistiquement significatives ($\alpha=0,05$).

Figure 4 Diagramme des comparaisons multiples entre stations par le test de Tukey-Kramer des concentrations de métaux dans les mousses aquatiques.

Il est donc possible que les sites à l'étude soient effectivement des sources de métaux pour la rivière Chaudière, mais que ces apports ne soient pas suffisamment importants pour résulter en des hausses statistiquement significatives des concentrations dans les mousses aquatiques lorsque l'on considère les résultats métal par métal. Sur d'autres cours d'eau où les mêmes techniques ont été employées, les cas qui se révélaient significatifs présentaient souvent des hausses de concentrations plus importantes, comme 190 % et 350 % respectivement pour le cuivre et le chrome sur la rivière Saint-François (Berryman, 1996a).

L'hypothèse voulant que les sites à l'étude soient, globalement, des sources de métaux pour la Chaudière se confirme à l'aide d'un simple test sur une proportion (Baillargeon et Rainville, 1977). Ce test compare la proportion observée (P_{obs}) de cas présentant des hausses de concentrations à une proportion attendue en théorie ($P_{thé}$) sous l'hypothèse nulle que les sites en cause ne sont pas des sources de métaux.

Sous cette hypothèse, les concentrations ne varieraient que de façon aléatoire; il y aurait donc autant de hausses que de baisses de concentrations. Ainsi, la proportion attendue de hausses serait de 50 % ($P_{thé} = 0,5$). Le calcul de la statistique du test démontre que la proportion observée (0,682) est significativement plus élevée que la proportion attendue (0,50) au seuil $\alpha = 0,05$. Si l'on ne tient pas compte des sites de Saint-Georges et Saint-Victor, discutés ci-après, la proportion observée de hausses de concentrations passe à 0,86 et est significativement plus grande que 0,50 à un seuil $\alpha < 0,0001$.

À Saint-Georges et, dans une moindre mesure, à Saint-Victor, on observe des baisses de concentrations de la station amont à la station aval (figures 2 et 3 et tableau 8). Ceci peut s'expliquer par la dilution. En effet, dans ces cas, il y a arrivée d'au moins un tributaire important entre les stations amont et aval comparées. Cet apport d'eau peut diluer les métaux éventuellement rejetés par les deux municipalités, ce qui peut annuler les différences de concentrations entre l'amont et l'aval. Si le tributaire a un débit relativement important par rapport au cours d'eau principal, mais que sa charge en métaux est nettement moindre, il est alors normal d'observer une baisse de concentration. À Saint-Georges, ce sont les rivières du Loup, Famine et Poser qui aboutissent à la Chaudière entre les stations 21 et 19. À Saint-Victor, c'est le ruisseau du Cinq qui se déverse dans le Bras Saint-Victor entre les stations V3 et V1. À Saint-Georges, l'absence de signal d'un apport de métaux est peut-être aussi due au fait que les traceurs étaient sur la rive droite de la rivière, alors que l'effluent municipal est sur la rive gauche. Il est difficile de savoir

si les mousses aquatiques et les cellules à dialyse étaient réellement exposées à l'effluent.

À la station 21, on trouve les concentrations les plus élevées du bassin en cuivre, plomb et vanadium, et les deuxièmes plus élevées en aluminium, chrome et zinc. Ces résultats indiquent qu'il existe peut-être une source de métaux en amont, entre Saint-Ludger et Saint-Georges. De plus, c'est dans ce tronçon de la rivière Chaudière, plus précisément dans le secteur de Saint-Gédéon, que Martel et Richard (1998) observent un impact important sur la communauté de poissons. Des mesures supplémentaires ont donc été faites en 1996 pour vérifier la présence d'une source de métaux. On a placé des échantillons de mousses aquatiques en amont et en aval de Saint-Gédéon et en amont de l'ancien dépotoir de cette municipalité (stations 24, 25 et 26). Ce dépotoir a reçu par le passé des déchets industriels et est classé comme un lieu d'élimination de déchets dangereux (tableau 2). Ces échantillons supplémentaires ne démontrent pas l'existence d'une source active de métaux dans ce secteur en 1996 (annexe 6).

Concernant le magnésium et le mercure, les niveaux de probabilité résultant de l'analyse de la variance sont très près du seuil de signification statistique (tableau 7). Le test de Tukey-Kramer étant conservateur, il n'a pas démontré entre quelles stations se situaient les différences. L'examen des tests de t sur les moyennes ajustées prises 2 à 2 montrent que les différences significatives se situent entre les valeurs extrêmes mesurées dans le bassin versant : les stations 30 et V1 pour le magnésium et stations V1 et 21 pour le mercure (figure 2).

Comparaison de différents tronçons de rivière

Comme le montre la figure 4, les concentrations de cuivre mesurées dans le Bras Saint-Victor sont parmi les plus élevées du bassin et sont significativement différentes de celles à trois stations de la rivière Chaudière (stations 4, 30 et 31). Les moyennes élevées sont peut-être dues à la présence de trois industries susceptibles de rejeter des substances toxiques à Saint-Éphrem-de-Beauce et à La Guadeloupe (tableau 1). Elles sont peut-être aussi dues à un contexte pédologique qui peut être différent dans ce sous-bassin.

On observe également pour plusieurs métaux des concentrations augmentant significativement d'amont en aval dans la partie amont de la rivière Chaudière. C'est le cas pour l'aluminium, entre la station du lac Mégantic (station 31) et la station en aval de Saint-Ludger (station 27) et également pour le cuivre entre le secteur du lac Mégantic (stations 30 et 31) et la station en amont de Saint-Georges (station 21) (figure 4). Pour

les autres métaux, on observe également des valeurs plus élevées dans le tronçon amont de la rivière Chaudière comparativement au tronçon aval de celle-ci (figures 2 et 3). L'absence de tributaire important pour diluer les apports naturels et anthropiques favorise probablement une augmentation des concentrations dans le tronçon amont de la rivière Chaudière, jusqu'à Saint-Georges.

De plus, les stations 18 et 19, qui reçoivent les eaux des rivières du Loup, Famine et Pozer, ont des concentrations significativement plus basses que plusieurs stations en amont, et ce, pour bon nombre de métaux : stations 27, 28 et 30 pour le nickel, stations 30 et 27 pour le fer et la station 27 pour le chrome et l'aluminium (figure 4). La dilution, comme il a été mentionné auparavant, pourrait expliquer ces baisses.

L'augmentation des concentrations observées le long du tronçon amont de la Chaudière semble aussi se produire pour certains métaux dans le tronçon aval de la rivière, de la station amont de Beauceville (station 18) à la station aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville (station 4) (figures 2 et 3). On note d'ailleurs des différences significatives entre ces stations pour l'aluminium, le nickel et le vanadium (figure 4) et probablement le zinc si ce n'était de la grande variabilité des mesures à la station 4 (figure 3).

Comparaison à d'autres cours d'eau

Les figures 5 et 6 illustrent les concentrations de métaux mesurées dans plusieurs cours d'eau où la technique des mousses aquatiques a été utilisée. Les traits verticaux présentent la gamme des concentrations moyennes par station obtenue pour chaque cours d'eau.

On constate que les concentrations mesurées dans la Chaudière sont en général du même ordre de grandeur que celles mesurées dans d'autres rivières de la rive sud du Saint-Laurent. Pour des raisons naturelles mais aussi à cause de sources de pollution qui s'y trouvent, ce sont surtout dans les tributaires de la rive nord (Saint-Maurice et L'Assomption) mais aussi dans la Saint-François qu'il y a des stations où les concentrations sont élevées. Pour tous les métaux étudiés, il n'y a pas, dans la rivière Chaudière, de station où les concentrations sont vraiment élevées en comparaison de ce qui a été mesuré ailleurs au Québec.

Biphényles polychlorés (BPC) et pesticides organochlorés

Les concentrations du BPC Arochlor 1254 ainsi que celles des pesticides organochlorés dans les mousses aquatiques ont été mesurées aux stations 4 et 5. Elles se sont toutes révélées en dessous des limites de détection, qui sont de 80 µg/kg pour les BPC et de 2 à 15 µg/kg pour les différents pesticides organochlorés. Sur les rivières Châteauguay et Saint-François, les mêmes techniques ont révélé la présence de BPC et de DDT à certains endroits (Berryman, 1996a,b).

En 1996, les stations 26, 25 et 24 ont fait l'objet de mesures de BPC par congénère. Cette méthode d'analyse permet d'atteindre des limites de détection beaucoup plus basses que celle de l'Arochlor 1254, employée aux stations 4 et 5 en 1994. Les résultats obtenus aux stations 24 à 26 sont présentés à l'annexe 6. Des valeurs élevées de BPC ont été observées en aval de Saint-Ludger, indiquant possiblement un apport local de ces substances.

Dioxines et furannes chlorés

Les résultats de l'analyse des dioxines et furannes chlorés aux stations 4 et 5 sont présentés à l'annexe 3. Le tableau 9 résume les résultats obtenus en équivalents toxiques de la dioxine 2,3,7,8-TCDD. Les concentrations mesurées ne sont pas plus élevées en aval qu'en amont de Sainte-Hélène-de-Breakeyville. Elles sont peut-être même moins élevées, mais on ne dispose pas suffisamment de mesures pour tester cette hypothèse à l'aide de la procédure statistique.

Tableau 9 Concentrations de dioxines et furannes chlorés en équivalents toxiques de 2,3,7,8-TCDD (pg/g) trouvées dans les mousses aquatiques placées en amont et en aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville

Localisation	Station	Échantillon	Équivalents toxiques (pg/g)		
			Dioxine	Furanne	Total
amont	5	1	0,134	0,243	0,377
amont	5	2	0,095	0,270	0,365
amont	5	3	0,100	0,003	0,103
aval	4	1	0,107	0,003	0,110
aval	4	2	0,039	0,000	0,039
aval	4	3	0,026	0,000	0,026

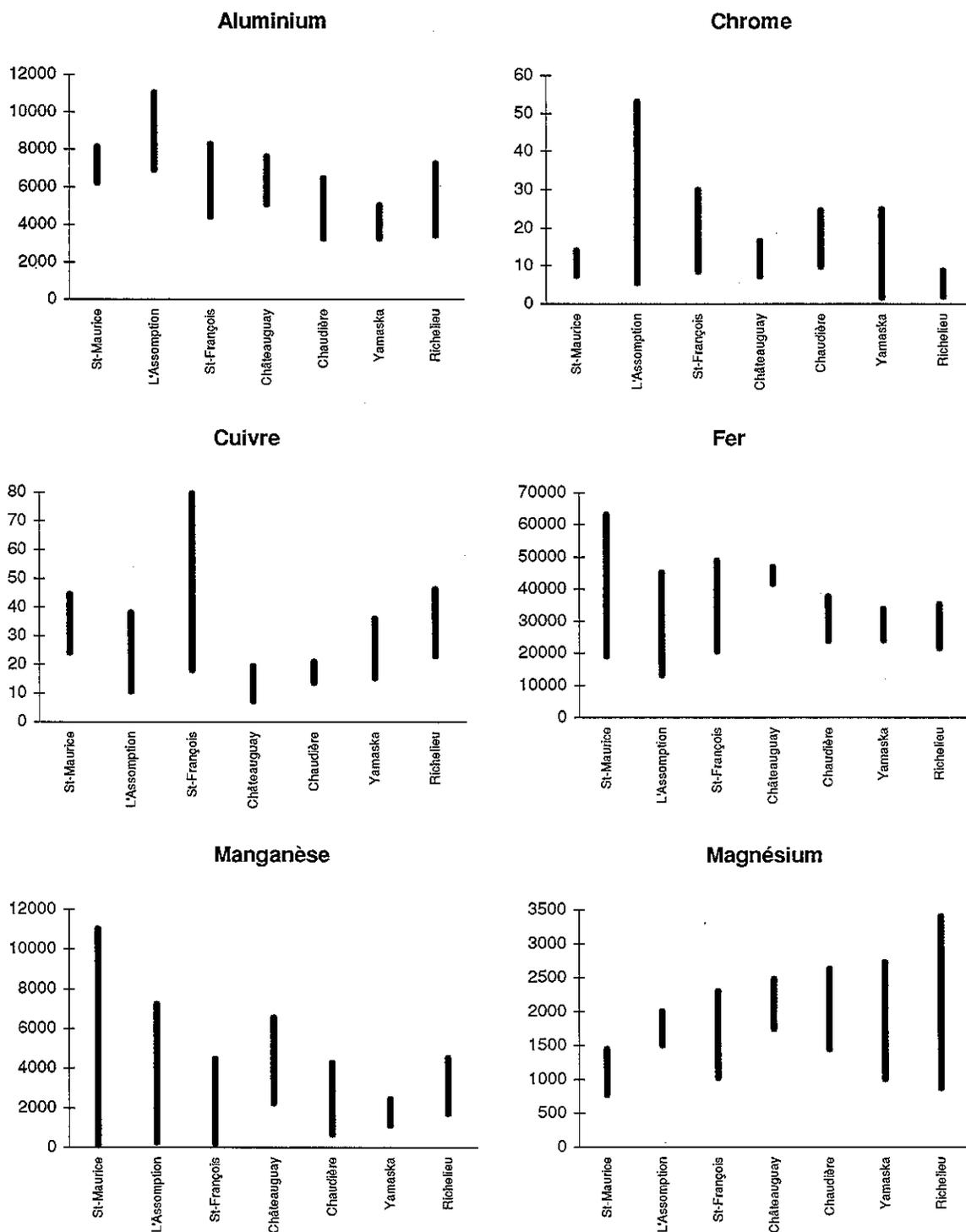


Figure 5 Concentrations (mg/kg) de métaux mesurées dans les mousses aquatiques placées dans plusieurs cours d'eau du Québec; gamme des concentrations moyennes par station.

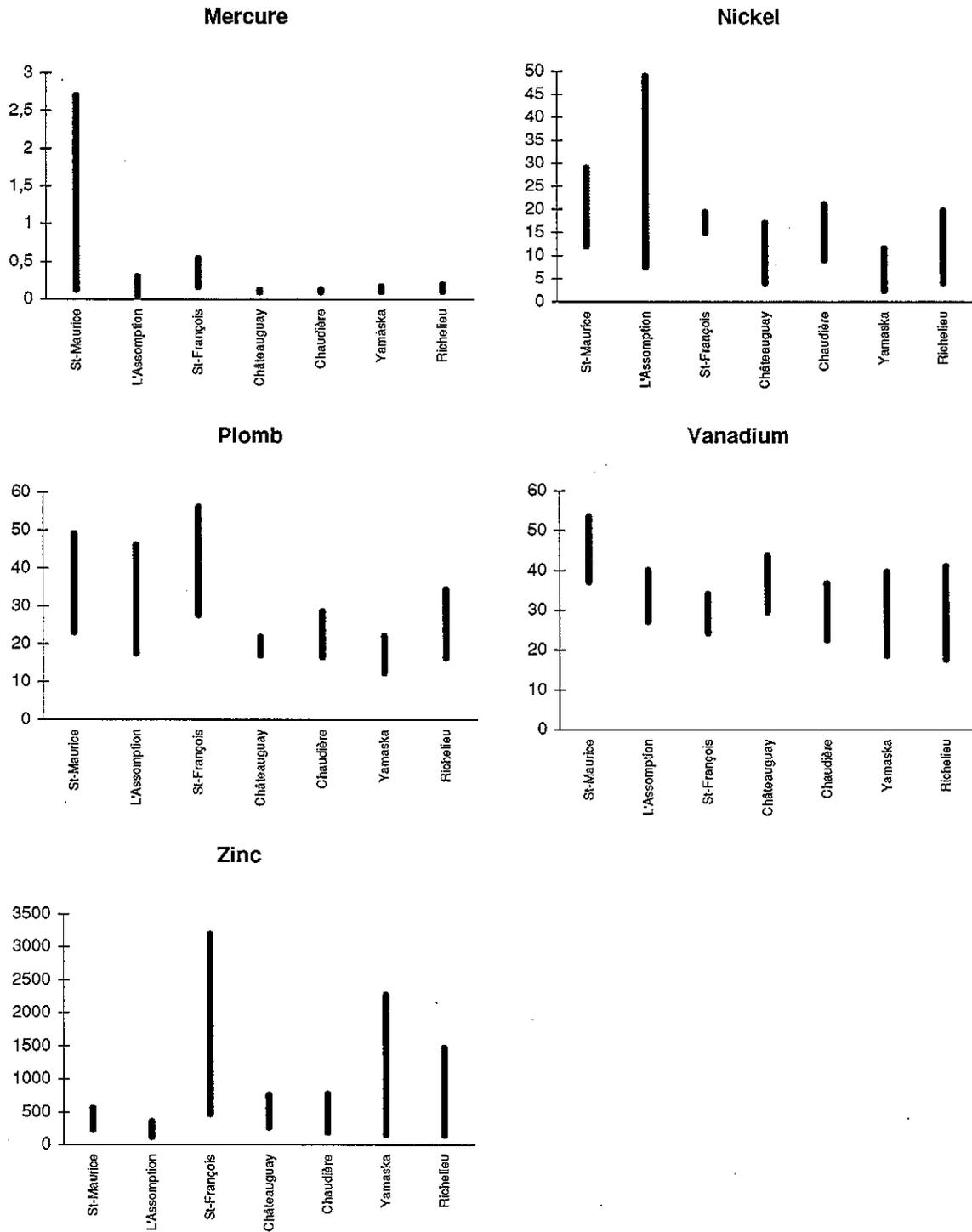


Figure 6 Concentrations (mg/kg) de métaux mesurées dans les mousses aquatiques placées dans plusieurs cours d'eau du Québec; gamme des concentrations moyennes par station. (suite)

Les concentrations obtenues, qui varient entre 0,026 et 0,377 pg/g en équivalents toxiques, ne sont pas très élevées en comparaison de ce qui a été mesuré dans d'autres cours d'eau au Québec (figure 7). Les concentrations mesurées dans la basse Chaudière semblent correspondre au bruit de fond que l'on observe dans tous les cours d'eau échantillonnés jusqu'à présent, notamment dans la rivière Cachée, d'où proviennent les mousses aquatiques. Des concentrations nettement supérieures ont été mesurées à certains endroits dans les rivières Yamaska et Saint-François (figure 7). Dans la haute Chaudière, des moyennes élevées aux stations 26 et 25, en 1996, sont dues à une seule valeur élevée à chaque station (annexe 6).

Composés organiques semi-volatils

En incluant les données des stations 24 à 26 (annexe 6), on a détecté dans les cellules à dialyse la présence de vingt composés organiques semi-volatils parmi les 65 composés analysés. Ce nombre est un peu supérieur à celui de la rivière Châteauguay, mais nettement inférieur à la quarantaine de substances détectées dans la Yamaska et le Richelieu (Berryman, 1996b; en préparation).

Il est important de noter que le fait qu'un composé organique semi-volatil ne soit pas détecté dans les cellules à dialyse ne prouve pas qu'il soit absent du milieu. Il a été démontré, par exemple, que les HAP

lourds n'entrent pas dans les cellules à dialyse. Ils ont plutôt tendance à adhérer au matériel particulaire et à sédimenter sur le fond (Berryman, 1993).

Pour les douze substances détectées dans la Chaudière en 1994, le tableau 10 présente la moyenne et l'erreur type des concentrations mesurées à chaque station. Les résultats détaillés sont présentés à l'annexe 4.

En plus de ces douze substances, quatre composés n'ont été détectés qu'à une station et présentent des résultats sans signification environnementale. En effet, de faibles quantités d'acénaphthylène et de dibenzofurane ont été décelées dans deux des cinq cellules provenant du lac Mégantic (station 31). Le benzo(a)anthracène a été détecté en concentration importante (4,7 µg/l) dans une seule cellule de la station 18, en amont de Beauceville alors que les autres mesures faites à cet endroit sont sous le seuil de détection de 0,4 µg/l. Il en est de même pour trois mesures élevées de chrysène en aval de Saint-Ludger. Ces résultats sont sans doute dus à une contamination des échantillons.

Les figures 8, 9 et 10 illustrent les concentrations moyennes des autres composés organiques semi-volatils trouvées dans les cellules à dialyse. Le tableau 11 donne les niveaux de probabilité de l'analyse de variance et la figure 11 montre les diagrammes de comparaisons multiples obtenus par le test de Tukey-Kramer pour les composés présentant des différences significatives entre les stations.

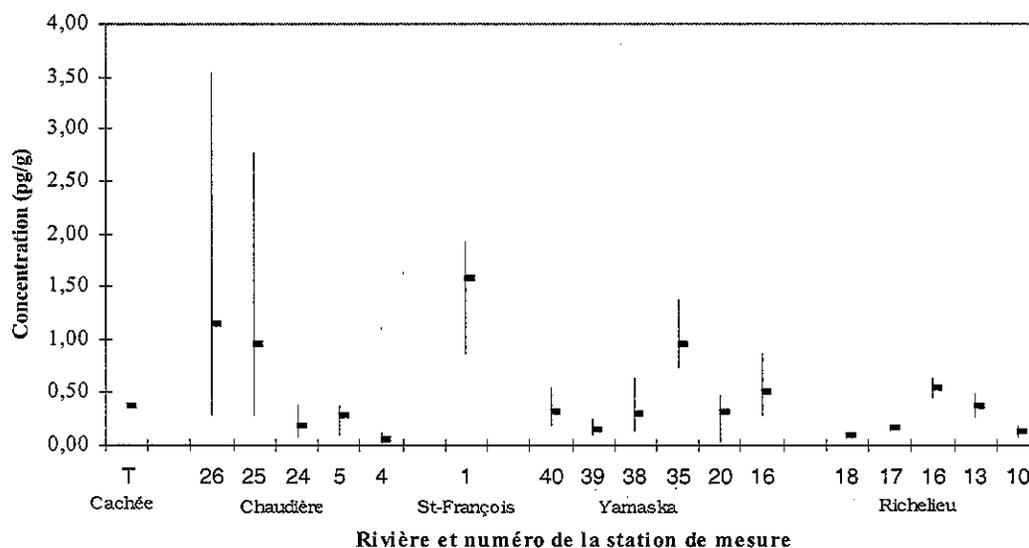
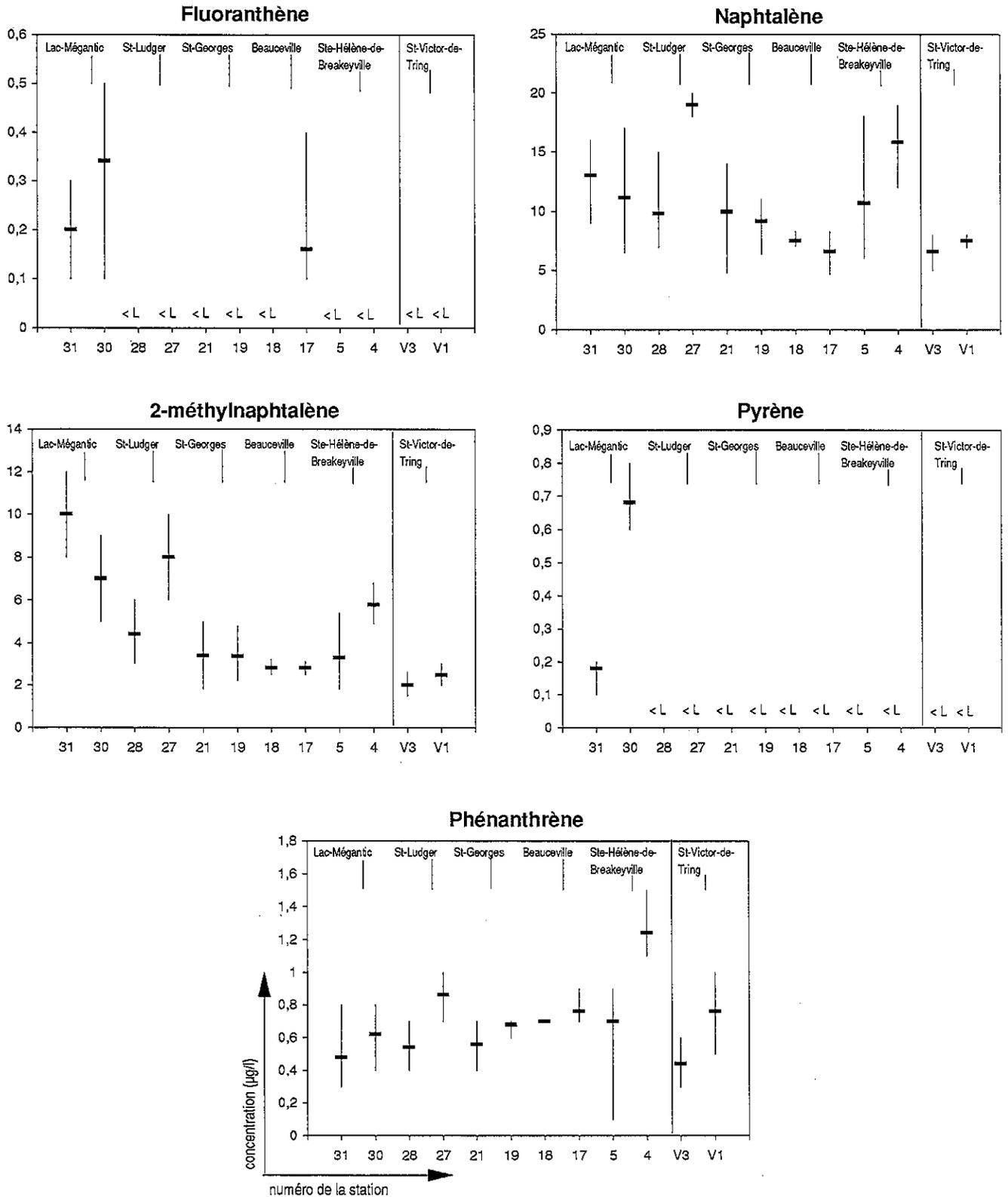
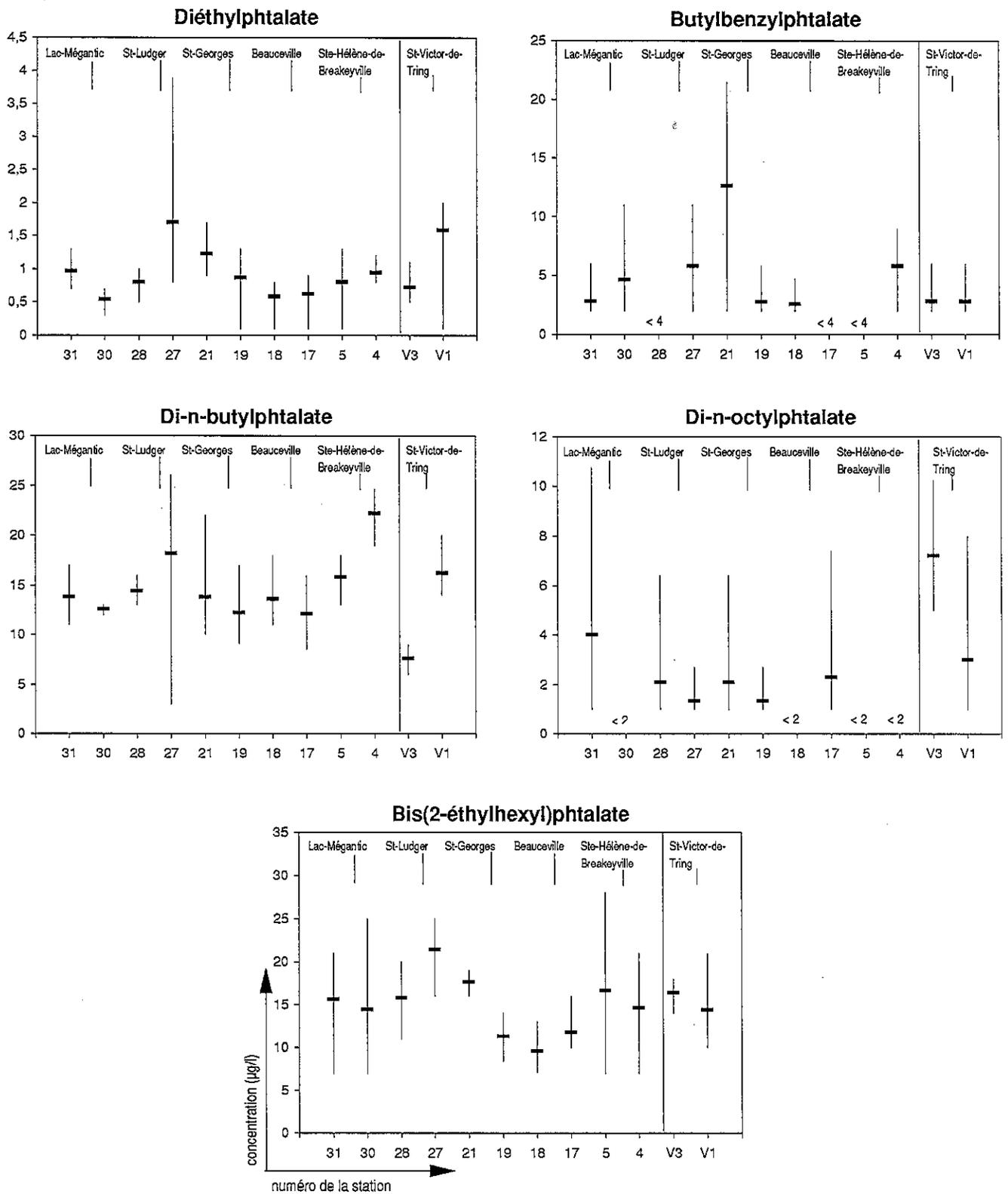


Figure 7 Concentrations de dioxines et furannes totaux mesurées dans les mousses aquatiques placées dans différents cours d'eau en équivalents toxiques de 2, 3, 7, 8-TCDD



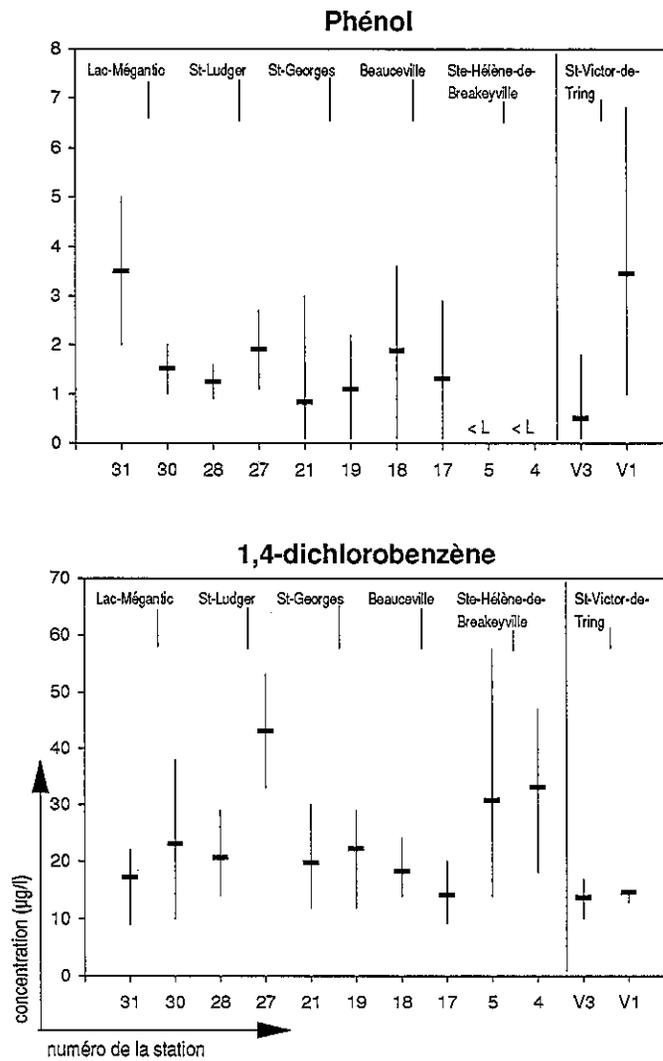
< L : toutes les mesures sont inférieures à la limite de quantification de 0,2 µg/l

Figure 8 Concentrations des HAP dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor; minimum, maximum et moyenne de cinq mesures par station.



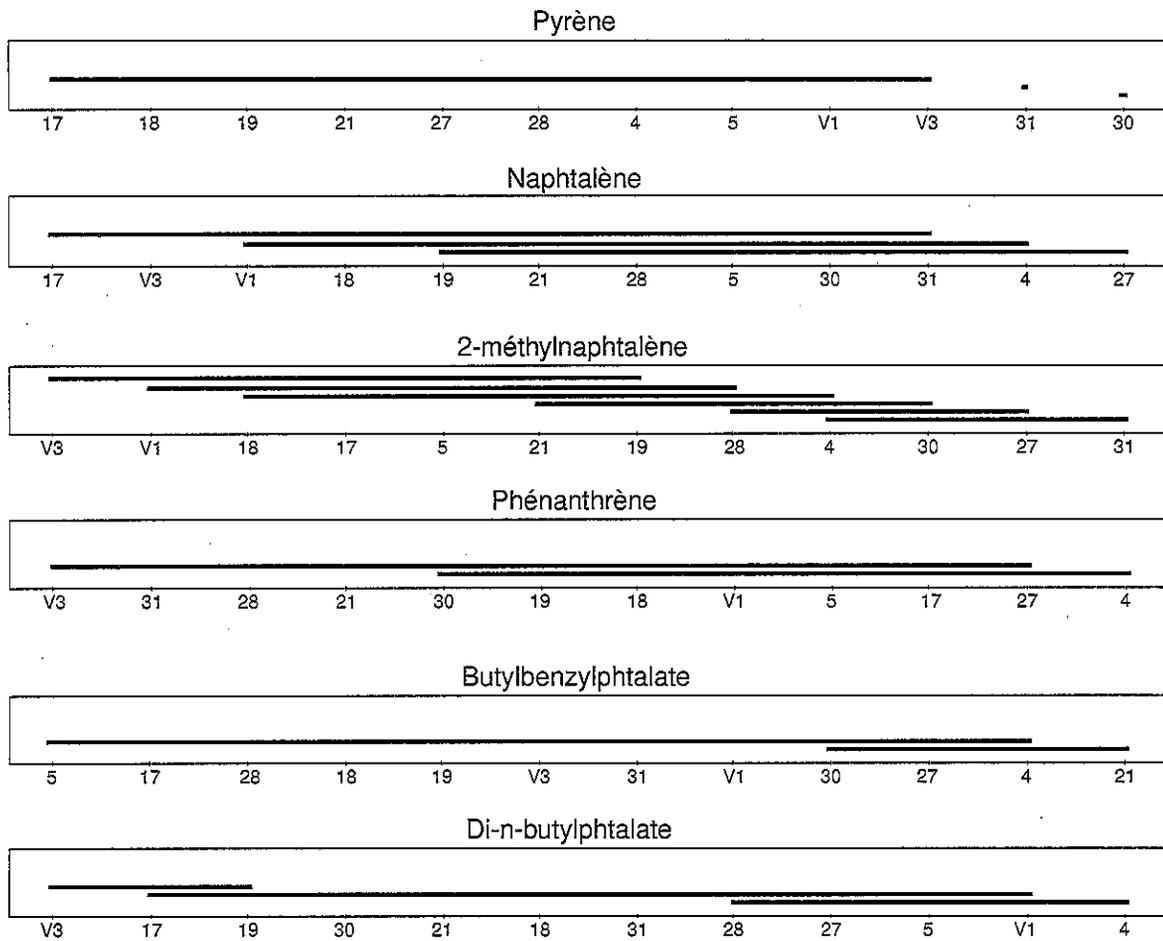
< X : toutes les mesures sont inférieures à la limite de quantification de X µg/l

Figure 9 Concentrations de phtalates dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor; minimum, maximum et moyenne de cinq mesures par station.



< L : toutes les mesures sont inférieures à la limite de quantification de 0,2 µg/l

Figure10 Concentrations de phénol et de 1,4-dichlorobenzène dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor; minimum, maximum et moyenne de cinq mesures par station.



Note : Les stations reliées par une ligne ont des concentrations moyennes qui ne sont pas statistiquement significatives ($\alpha=0,05$).

Figure 11 Diagramme des comparaisons multiples entre stations par le test de Tukey-Kramer sur les concentrations de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse.

Tableau 10 Moyennes ($\mu\text{g/l}$) et erreurs types (entre parenthèses) des concentrations de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor

Substance	Station											
	4	5	17	18	19	21						
Pyrène	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Naphtalène	15,80	(1,16)	10,67	(3,71)	6,60	(0,75)	7,52	(0,22)	9,16	(0,86)	9,95	(2,16)
2-méthylnaphtalène	5,78	(0,32)	3,27	(1,09)	2,80	(0,13)	2,80	(0,12)	3,34	(0,45)	3,38	(0,78)
Phénanthrène	1,24	(0,07)	0,70	(0,15)	0,80	(0,04)	0,70	(0,00)	0,68	(0,02)	0,56	(0,06)
Fluoranthène	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,16	(0,06)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Bis(2-éthylhexyl)phtalate	14,6	(2,2)	16,6	(3,4)	11,8	(1,1)	9,6	(1,0)	11,3	(1,0)	17,6	(0,5)
Di-n-octylphtalate	< 2	< 2	< 2	< 2	2,3	(1,3)	< 2	< 2	1,3	(0,3)	2,1	(1,1)
Di-n-butylphtalate	22,2	(1,2)	15,8	(1,0)	12,1	(1,4)	13,6	(1,3)	12,2	(1,4)	13,8	(2,1)
Diéthylphtalate	0,94	(0,07)	0,80	(0,19)	0,62	(0,14)	0,58	(0,13)	0,86	(0,21)	1,22	(0,14)
Butylbenzylphtalate	5,8	(1,1)	< 4	< 4	< 4	< 4	2,5	(0,5)	2,8	(0,8)	12,6	(4,2)
Phénol	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1,38	(0,59)	1,88	(0,75)	1,08	(0,42)	0,83	(0,73)
1,4-Dichlorobenzène	33,0	(5,9)	30,7	(14,7)	14,1	(2,3)	18,2	(2,0)	22,2	(3,1)	19,8	(4,0)
	27	28	30	31	VI	V3						
Pyrène	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,68	(0,04)	0,18	(0,02)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Naphtalène	19,0	(1,00)	9,8	(1,39)	11,1	(1,86)	13,0	(1,30)	7,5	(0,29)	6,6	(0,51)
2-méthylnaphtalène	8,00	(2,00)	4,40	(0,51)	7,00	(0,84)	10,00	(0,71)	2,45	(0,22)	1,98	(0,20)
Phénanthrène	0,86	(0,05)	0,54	(0,07)	0,62	(0,07)	0,48	(0,09)	0,76	(0,08)	0,44	(0,05)
Fluoranthène	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,34	(0,10)	0,20	(0,04)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Bis(2-éthylhexyl)phtalate	21,4	(1,9)	15,8	(1,8)	14,4	(3,0)	15,6	(2,4)	14,4	(1,8)	16,4	(0,8)
Di-n-octylphtalate	1,3	(0,3)	2,1	(1,1)	1,0	(0,0)	4,0	(1,8)	3,0	(1,4)	7,2	(1,4)
Di-n-butylphtalate	18,2	(4,3)	14,4	(0,7)	12,6	(0,2)	13,8	(1,3)	16,2	(1,0)	7,6	(0,5)
Diéthylphtalate	1,70	(0,57)	0,80	(0,08)	0,54	(0,08)	0,96	(0,12)	1,58	(0,37)	0,72	(0,10)
Butylbenzylphtalate	5,8	(1,8)	< 4	< 4	4,6	(1,8)	2,8	(0,8)	2,8	(0,8)	2,8	(0,8)
Phénol	1,90	(0,80)	1,24	(0,15)	1,50	(0,21)	3,50	(0,63)	3,45	(1,27)	0,50	(0,33)
1,4-Dichlorobenzène	43,0	(10,0)	20,6	(2,5)	23,0	(5,5)	17,2	(2,8)	14,5	(0,5)	13,6	(1,2)

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Selon la documentation scientifique, les principales sources de HAP, comme le naphtalène et le phénanthrène, sont la combustion incomplète de matière organique et certains procédés industriels (Lalonde et collab., 1993). Le lessivage des matériaux créosotés, comme les pilotis de quais et les piliers de ponts, est aussi une source de HAP pour le milieu

aquatique (CNRC, 1984 cité dans CMRE, 1987). Il y a aussi des HAP dans les eaux de ruissellement urbain (Makepeace et collab., 1995). De fait, les sources potentielles de HAP dans le milieu aquatique sont nombreuses et variées.

Comparaison des concentrations entre l'amont et l'aval des six sites à l'étude. De tous les HAP décelés à plusieurs stations de cette étude, soit le pyrène, le

naphtalène, le 2-méthylnaphtalène, le phénanthrène et le fluoranthène, seulement ce dernier n'a pas donné, à la suite de l'analyse de variance, de différences significatives entre les stations (tableau 11). Cependant, ce n'est que dans le cas du pyrène qu'il y a une différence significative entre l'amont et l'aval d'un des sites à l'étude (figure 10).

Les seules concentrations mesurées de pyrène se trouvent aux stations 30 et 31, situées en amont et en aval de la municipalité de Lac-Mégantic (figure 8). La concentration mesurée en aval est la plus élevée et est significativement différente de celle en amont (figure 11) indiquant un apport provenant de Lac-Mégantic, là où se trouvent les Industries manufacturières Mégantic inc. Des HAP ont d'ailleurs été décelés dans l'effluent de cette entreprise (GSI Environnement inc., 1997). Ce qui est mesuré en amont, dans le lac Mégantic, peut provenir de retombées atmosphériques. En effet, les cheminées des chaudières à vapeur des Industries manufacturières Mégantic, qui utilisent des résidus de bois comme combustible, et les séchoirs à bois de Énergex et de Tafisa Canada sont des sources potentielles de HAP.

Tableau 11 Niveau de probabilité du ratio F de l'analyse de variance réalisée sur les résultats de composés organiques semi-volatils

Composé		Niveau de probabilité ¹
HAP	Pyrène	0,0001
	Naphtalène	0,0074
	2-méthylnaphtalène	0,0001
	Phénanthrène	0,0149²
	Fluoranthène	0,4036
Phtalates	Bis(2-éthylhexyl)phtalate	0,1075
	Di-n-octylphtalate	0,0842
	Di-n-butylphtalate	0,0005
	Diéthylphtalate	0,3379
	Butylbenzylphtalate	0,0133
Autres	Phénol	0,0881
	1,4-dichlorobenzène	0,1802

¹ Caractères gras : $\infty < 0,05$.

² Résultat de l'analyse de variance sur les rangs.

Comme dans le cas des métaux, un examen des graphiques des données aux différentes stations de mesure (figure 8) porte à croire que certains sites à l'étude sont des sources de HAP, même si les concentrations en aval ne sont pas statistiquement plus élevées qu'en amont. Le tableau 12 présente, en pourcentage, les changements de concentrations observés à chacun des sites. On constate que pour le naphtalène, le 2-méthylnaphtalène et le phénanthrène, Saint-Ludger et Sainte-Hélène-de-Breakeyville présentent des hausses qui apparaissent substantielles : de 48 % à 94 %. Dans les cas du naphtalène et du 2-méthylnaphtalène à Saint-Ludger, l'absence de différence significative est peut-être due au fait qu'à cause de problèmes analytiques, il n'y a que deux mesures à la station aval.

Comparaison entre différents tronçons de rivière. Parmi les HAP que l'on trouve à toutes les stations, soit le naphtalène, le 2-méthylnaphtalène et le phénanthrène, seulement ce dernier ne suit pas le schéma observé auparavant pour les métaux, c'est-à-dire des concentrations plus élevées dans la haute Chaudière, en amont de Saint-Georges. Les différences significatives s'observent entre les stations 27 d'une part, et 17 et 18 d'autre part, pour le naphtalène. Quant au 2-méthylnaphtalène, elles s'observent entre les stations 27, 30, 31 en amont et 5, 17, 18 en aval (figure 11).

On note également une légère augmentation dans le tronçon aval de la rivière Chaudière pour ces HAP. Les différences significatives ne s'observent qu'entre les stations 4 et 17 pour le naphtalène (figure 11). Pour le phénanthrène, la station en aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville (station 4) se différencie significativement des stations 21, 28 et 31 en amont.

Phtalates

Selon la documentation scientifique, les phtalates représentent un vaste groupe de produits chimiques utilisés principalement comme plastifiants. Il y a plusieurs sources de phtalates dans le milieu aquatique, notamment les usines de PVC, de textile et de papiers, les eaux de lixiviation des dépotoirs et les incinérateurs (CCMRE, 1987). De plus, on trouve fréquemment des phtalates dans les eaux de ruissellement urbain (Makepeace et collab., 1995).

Comparaison des concentrations entre l'amont et l'aval des six sites à l'étude. Deux phtalates, le butylbenzylphtalate et le di-n-butylphtalate présentent des différences significatives entre les stations (tableau 11). On constate que Saint-Victor est une source de di-n-butylphtalate dans le Bras Saint-Victor,

Tableau 12 Différence (%) de concentrations de HAP entre l'aval et l'amont des six sites à l'étude

Site	Station		Substance				
	aval	amont	naphtalène	2-méthyl- naphtalène	phénan-thrène	fluoran-thène	pyrène
Ste-Hélène-de-Breakeyville	4	5	48	77	77	0	0
Beauceville	17	18	-12	0	14	60	0
Saint-Georges ¹	19	21	-8	-1	21	0	0
Saint-Ludger	27	28	94	82	59	0	0
Lac-Mégantic	30	31	-15	-30	29	70	278
St-Victor-de-Tring ¹	V1	V3	14	24	73	0	0

¹ Dilution par l'arrivée d'au moins un tributaire important entre les stations amont et aval.

Note : Les chiffres en caractères gras représentent des hausses statistiquement significatives ($\alpha = 0,05$).

Note : Une valeur positive indique une augmentation des concentrations de l'amont à l'aval, une valeur négative indique une diminution.

Tableau 13 Différence (%) des concentrations de phtalates entre l'aval et l'amont des six sites à l'étude

Site	Station		Substance				
	aval	amont	Bis(2- éthylhexyl)- phtalate	Di-n-octyl- phtalate	Di-n-butyl- phtalate	Diéthyl-phtalate	Butylbenzyl- phtalate
Ste-Hélène-de-Breakeyville	4	5	-12	0	41	18	190
Beauceville	17	18	23	128	-11	7	-21
Saint-Georges ¹	19	21	-36	-36	-11	-30	-78
Saint-Ludger	27	28	35	-36	26	113	190
Lac-Mégantic	30	31	-8	-75	-9	-44	64
St-Victor-de-Tring ¹	V1	V3	-12	-58	113	119	0

¹ Dilution par l'arrivée d'au moins un tributaire important entre les stations amont et aval.

Note : Les chiffres en caractères gras représentent des hausses statistiquement significatives ($\alpha = 0,05$).

Note : Une valeur positive indique une augmentation des concentrations de l'amont à l'aval, une valeur négative indique une diminution.

car les concentrations en aval sont statistiquement plus élevées qu'en amont (figure 11). La hausse des concentrations est de 113 %.

Pour les phtalates, contrairement aux métaux et aux HAP, la figure 9 et le tableau 13 montrent qu'il arrive tout aussi souvent que les concentrations mesurées en aval des sites à l'étude soient moins élevées que plus

élevés qu'en amont. Dans le cas du butylbenzylphtalate à Saint-Ludger et à Sainte-Hélène-de-Breakeyville, et du diéthylphtalate à Saint-Ludger et Saint-Victor, les hausses apparentes de concentrations (113 % à 190 % selon le cas) indiquent qu'il y a peut-être un apport au cours d'eau, même si les différences entre l'amont et l'aval ne sont pas significatives.

Comparaison entre différents tronçons de rivière. Le schéma des concentrations des phtalates le long de la rivière Chaudière ressemble un peu à celui des métaux et des HAP : valeurs plus élevées dans le tronçon amont de la rivière Chaudière, faibles valeurs près de Beauceville et légère augmentation en aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville. Seulement le butylbenzyl-phtalate à la station 21, en amont de Saint-Georges, se distingue significativement de la station 31, dans le lac Mégantic, où la concentration moyenne est 351 % plus basse (figure 9). La différence est encore plus forte avec les stations 5 à 19 en aval. La station 4 se distingue de plusieurs autres en amont par ses concentrations élevées de di-n-butylphtalate (figure 11).

Autres composés organiques semi-volatils

Finalement, deux autres composés organiques semi-volatils ont été détectés : le phénol et le 1,4-dichlorobenzène. On n'a pas trouvé de différence significative entre les stations pour ces substances (tableau 11). Toutefois une hausse importante (590%) de phénol a été mesurée en aval de Saint-Victor par rapport à la station en amont de la même municipalité (figure 10). Mentionnons en dernier lieu la hausse de 109% de 1,4-dichlorobenzène en aval de Saint-Ludger.

Acides gras et résiniques

Sept des seize acides gras et résiniques analysés ont été détectés dans les cellules à dialyse. L'acide

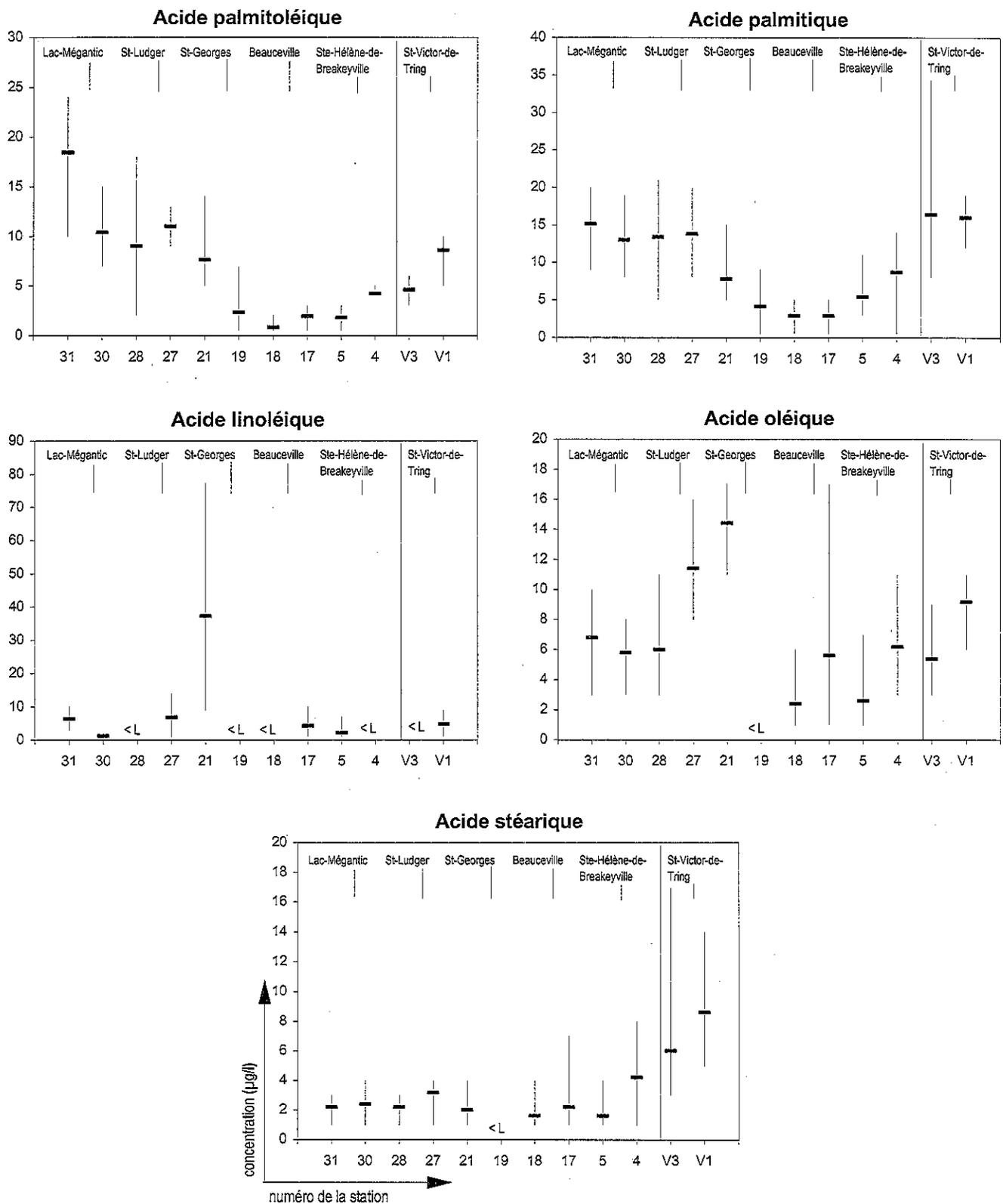
déhydroabiétique et l'acide pimérique, qui n'ont été détectés que sporadiquement, en traces, dans quelques cellules à dialyse, sont les seuls acides résiniques détectés.

Comme pour les composés organiques semi-volatils, la situation de la Chaudière en ce qui a trait aux acides gras et résiniques ressemble à celle de la rivière Châteauguay. Dans les deux cas on a détecté des acides gras mais pratiquement pas d'acides résiniques. Dans les rivières Saint-François, Yamaska et Richelieu, la présence d'acides résiniques fait que neuf ou dix substances différentes ont été régulièrement détectées, comparativement aux cinq substances de la Chaudière.

La figure 12 illustre les concentrations moyennes des cinq acides gras trouvés dans les cellules à dialyse à chaque station, soit les acides palmitoléique, palmitique, linoléique, oléique et stéarique. Les valeurs moyennes ainsi que leur erreur type sont présentées au tableau 14. Les résultats bruts sont présentés à l'annexe 5. Seulement l'acide stéarique ne présente pas de différence significative entre les stations, quoique le niveau de probabilité obtenu soit près du seuil de signification (tableau 15). La figure 13 montre les diagrammes de comparaisons multiples obtenus du test de Tukey-Kramer pour les cinq acides gras détectés.

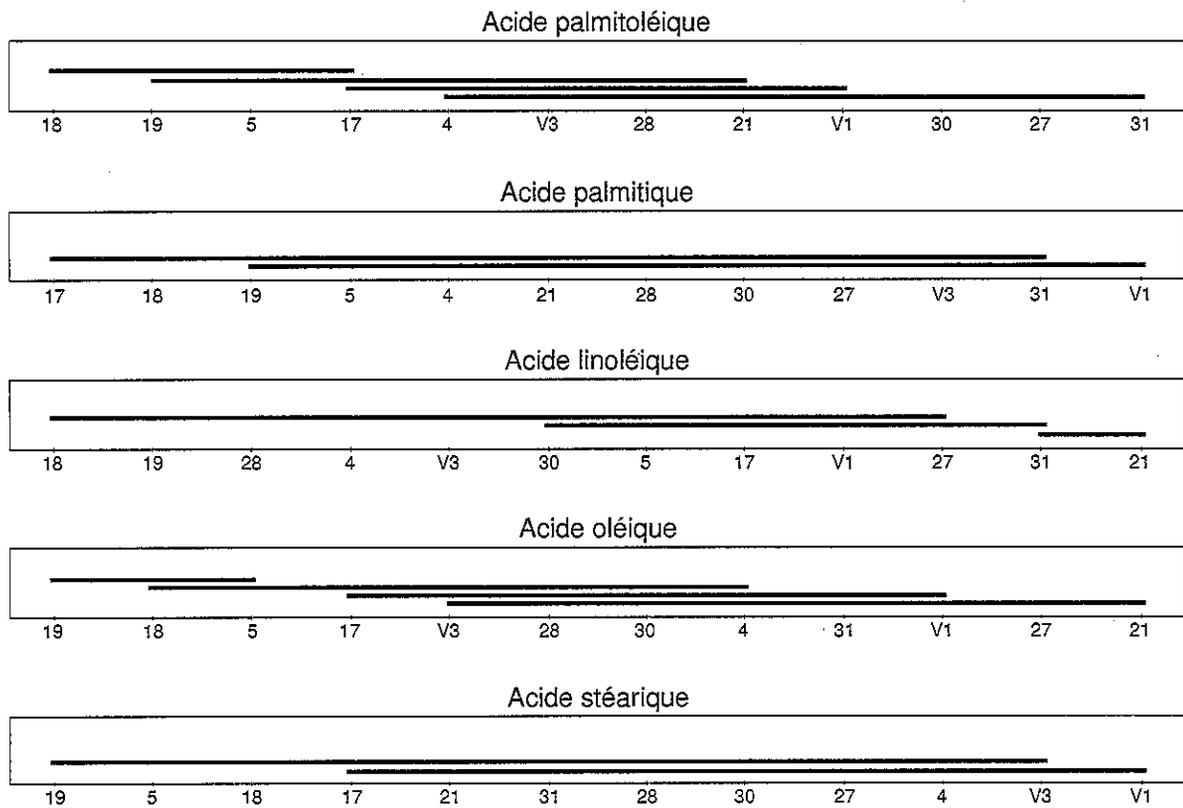
Tableau 14 Moyennes ($\mu\text{g/l}$) et erreurs types (entre parenthèses) des concentrations d'acides gras et résiniques dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor

Substance	Station											
	4		5		17		18		19		21	
Acide palmitoléique	4,2	(0,2)	1,8	(0,6)	1,9	(0,4)	0,8	(0,3)	2,3	(1,3)	7,6	(1,7)
Acide palmitique	8,7	(2,3)	5,4	(1,5)	2,9	(0,8)	2,9	(0,8)	4,1	(1,5)	7,8	(1,9)
Acide linoléique	< 2		2,2	(1,2)	4,2	(1,7)	< 2		< 2		37,2	(14,3)
Acide oléique	6,2	(1,5)	2,6	(1,2)	5,6	(3,0)	2,4	(1,0)	< 2		14,4	(1,3)
Acide stéarique	4,2	(1,1)	1,6	(0,6)	2,2	(1,2)	1,6	(0,6)	< 2		2	(0,6)
	27		28		30		31		VI		V3	
Acide palmitoléique	11	(0,9)	9	(3,1)	10,4	(1,6)	18,4	(2,4)	8,6	(0,9)	4,6	(0,5)
Acide palmitique	13,8	(1,9)	13,4	(2,9)	13	(2,5)	15,2	(2,0)	16	(1,5)	16,4	(4,8)
Acide linoléique	6,8	(2,3)	< 2		1,2	(0,2)	6,4	(1,6)	4,8	(1,6)	< 2	
Acide oléique	11,4	(1,3)	6	(1,6)	5,8	(1,0)	6,8	(1,5)	9,2	(0,9)	5,4	(1,0)
Acide stéarique	3,2	(0,6)	2,2	(0,5)	2,4	(0,6)	2,2	(0,5)	8,6	(1,6)	6	(3,0)



< L: toutes les mesures sont inférieures à la limite de quantification de 2 µg/l.

Figure 12 Concentrations d'acides gras et résiniques dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor; minimum, maximum et moyenne de cinq mesures par stations.



Note : Les stations reliées par une ligne ont des concentrations moyennes qui ne sont pas statistiquement significatives ($\alpha=0,05$).

Figure 13 Diagramme des comparaisons multiples entre stations par le test de Tukey-Kramer sur les concentrations d'acides gras et résiniques dans les cellules à dialyse.

Tableau 15 Niveau de probabilité du ratio F de l'analyse de variance réalisée sur les résultats d'acides gras et résiniques

Substance	Niveau de probabilité
Acide palmitoléique	0,0002
Acide palmitique	0,0055
Acide linoléique	0,0001
Acide oléique	0,0001
Acide stéarique	0,0514

¹ Caractères gras : $\infty < 0,05$

Comparaison des concentrations entre l'amont et l'aval des six sites à l'étude

Le schéma général observé dans les concentrations moyennes se décrit comme suit : des hausses apparentes aux stations en aval des municipalités par rapport aux stations en amont sauf à Lac-Mégantic et Saint-Georges (figure 12 et tableau 16). Aucune de ces hausses n'est statistiquement significative (figure 13) même si certaines sont substantielles; comme les 580 %, 320 % et 380 % d'augmentation d'acide linoléique, respectivement à Saint-Ludger, Beauceville et Saint-Victor. Les différences significatives s'observent entre les stations représentant les valeurs extrêmes mesurées dans le bassin versant.

Les baisses observées à Saint-Georges sont probablement imputables à la dilution par les affluents du Loup, Famine et Pozer qui se jettent dans la Chaudière juste en amont de la station de mesure.

Comparaison entre différents tronçons de rivière

Les concentrations d'acide linoléique et oléique sont plus élevées à la station 21, particulièrement celles de l'acide linoléique dont les teneurs sont significativement différentes de celles des autres stations (à l'exception de la station 31) (figures 12 et 13). Ceci semble indiquer une source de ces deux acides plus en amont, peut-être à Saint-Martin ou à Saint-Gédéon. Ce manque de signification avec la station 31 concernant l'acide linoléique peut paraître surprenant sachant qu'il en existe une avec la station 27 pourtant avec une moyenne et erreur type plus élevées. Ceci est dû aux moyennes différentes obtenues par cage à chacune des stations, ce que le modèle hiérarchisé de l'analyse de variance considère. Pour l'acide oléique, la station 21 ne se

distingue que des stations aux concentrations plus faibles en aval, en particulier sa station jumelle 19, les concentrations observées à cette dernière étant toutes sous la limite de détection (figures 12 et 13).

On trouve dans les stations du Bras Saint-Victor des concentrations élevées d'acide palmitique et stéarique qui se distinguent d'ailleurs significativement de certaines stations aux très basses valeurs retrouvées en aval de Saint-Georges.

Échantillons d'eau

Dans les échantillons d'eau, peu d'analyses ont donné des résultats au-dessus de la limite de détection. Les quelques résultats obtenus sont présentés dans le tableau 17.

Dans les échantillons récoltés du 18 au 20 juillet 1994, trois substances ont été détectées : le phénol, le chloroforme et le di-n-butylphtalate dont les deux derniers en concentrations nettement au-dessus des limites de détection à la station 21. Dans l'échantillonnage de septembre, seulement des traces de phénol ont été détectées à quatre stations.

Dans les échantillons prélevés uniquement dans le Bras Saint-Victor le 16 août 1994, on a décelé cinq substances à la station en aval : p-crésol, n-propylbenzène, 2-chlorotoluène, et deux formes de triméthylbenzène (tableau 17). À la station amont, les teneurs de ces substances étaient sous la limite de détection. Ces substances proviennent vraisemblablement de Lainages Victor Itée, la seule entreprise de la municipalité susceptible de rejeter de telles substances.

En général, les concentrations des substances décelées dans l'eau sont faibles, nettement inférieures aux divers critères de qualité de l'eau reconnus au Québec (MEF, 1992). L'exception est le chloroforme, dont les concentrations de juillet aux stations 19 et 21 (0,36 µg/l et 2,8 µg/l) dépassent le critère de 0,19 µg/l dans l'eau brute destinée à la consommation humaine. Il y a aussi le di-n-butylphtalate, dont la concentration mesurée à la station 21 (2,6 µg/l) approche le critère de 4 µg/l pour la protection de la vie aquatique.

Il faut toutefois signaler que parmi les nombreuses substances analysées dans les échantillons d'eau et listées au tableau 5, plusieurs ont des critères de qualité de l'eau qui sont inférieurs aux limites de détection des méthodes d'analyse. Ainsi, dans bien des cas, le fait qu'une substance ne soit pas détectée ne garantit pas que les critères de qualité de l'eau soient respectés.

Tableau 16 Différence (%) des concentrations d'acides gras entre l'aval et l'amont des six sites à l'étude

Site	Station		Substance				
	aval	amont	Acide palmito-léique	Acide palmitique	Acide linoléique	Acide oléique	Acide stéarique
Ste-Hélène-de-Breakeyville	4	5	133	61	-55	138	163
Beauceville	17	18	138	0	320	133	38
Saint-Georges ¹	19	21	-70	-47	-97	-93	-50
Saint-Ludger	27	28	22	3	580	90	45
Lac-Mégantic	30	31	-43	-14	-81	-15	9
St-Victor-de-Tring ¹	V1	V3	87	-2	380	70	43

¹ Dilution par l'arrivée d'au moins un tributaire important entre les stations amont et aval.

Note : Une valeur positive indique une augmentation des concentrations de l'amont à l'aval, une valeur négative indique une diminution.

Tableau 17 Concentrations (µg/l) de diverses substances retrouvées dans les échantillons d'eau de la rivière Chaudière et du Bras Saint-Victor

Substances	Stations											
	4	5	17	18	19	21	27	28	30	31	V1	V3
<i>Échantillons du 18, 19 ou 20 juillet</i>												
Phénol	< 0,4	1,1	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,7	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,5	< 0,4
Chloroforme	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,36	2,8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Di-n-butylphthalate	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2,6	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
<i>Échantillons du 16 août</i>												
p-crésol											0,3	< 0,2
n-propylbenzène											0,07	< 0,05
2-chlorotoluène											0,07	< 0,05
1,3,5-triméthylbenzène											0,09	< 0,02
1,2,4-triméthylbenzène											0,26	< 0,02
<i>Échantillons du 12, 13 ou 14 septembre</i>												
Phénol	< 0,4	< 0,4	0,5	< 0,4	0,9	0,5	0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4

Note : Ce tableau ne présente que les résultats pour les substances ayant des valeurs au-dessus de la limite de détection. La liste des substances analysées est au tableau 5.

Il est intéressant de noter que les cellules à dialyse ont permis la détection de douze composés organiques semi-volatils et cinq acides gras, alors que ces substances n'ont pas été détectées par l'échantillonnage direct de

l'eau, sauf pour le phénol. Ceci démontre l'utilité des cellules à dialyse pour le suivi de substances toxiques organiques en faible concentration dans le milieu aquatique.

CONCLUSION ET DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de dresser un portrait de la contamination des eaux de la rivière Chaudière par un certain nombre de substances toxiques, et plus particulièrement de vérifier l'importance de certains sites (Lac-Mégantic, Saint-Ludger, Saint-Georges, Beauceville, Sainte-Hélène-de-Breakeyville et Saint-Victor) comme sources de ces substances.

Le tableau 18 présente, pour chaque site à l'étude, les substances qui présentent manifestement des hausses de concentration. Y figurent principalement les cas où la moyenne est en hausse de plus de 50 % et où la très nette majorité des mesures en aval sont plus élevées qu'en amont. Dans ce qui suit, ces résultats sont discutés en rapport avec l'état des communautés benthiques et piscicole de la rivière, tel que révélé par d'autres études du ministère de l'Environnement et de la Faune, publiées en même temps que celle-ci.

Lac-Mégantic

On constate à Lac-Mégantic une hausse des concentrations de 89 % en manganèse et de 278 % en pyrène. Cette dernière est statistiquement significative. L'origine du manganèse est inconnue et est peut-être naturelle. La concentration mesurée en aval de Lac-Mégantic, même si elle représente le maximum du bassin, n'est pas vraiment élevée comparée à ce qui a été mesurée dans d'autres cours d'eau (figure 5). De toute façon, ce métal essentiel au métabolisme n'est pas des plus toxiques.

La source du pyrène déversé dans la Chaudière à Lac-Mégantic est possiblement les Industries manufacturières Mégantic inc., car des HAP ont été trouvés dans l'effluent de cette entreprise. De plus, le seul autre endroit du bassin où l'on trouve du pyrène est le lac Mégantic, ce qui porte à croire à un apport aéroporté local en plus d'un rejet liquide direct au cours d'eau. Il faut cependant signaler que le ruissellement urbain et le lessivage des quais, pilotis et autres structures en bois sont aussi des sources potentielles de HAP.

Le rejets de Lac-Mégantic, que ce soit par le pyrène ou d'autres substances non mesurées dans cette étude, ont un impact sur la communauté de poisson de la rivière Chaudière. En aval de cette municipalité, la communauté piscicole est en mauvais état; les poissons présentent un fort taux d'anomalies (Martel et Richard, 1998).

Tableau 18 Liste des substances présentant une hausse significative ou marquée de concentration à chacun des sites à l'étude

Site	Substance	Hausse observée (%)
Lac-Mégantic	manganèse	89
	pyrène	278
Saint-Ludger	aluminium	36
	chrome	61
	naphtalène	94
	phénanthrène	59
	butylbenzylphthalate	190
	1,4-dichlorobenzène	109
	acide linoléique	580
	acide oléique	90
	BPC	—
Saint-Georges	—	
Beauceville	aluminium	39
	zinc	73
	acide linoléique	320
Sainte-Hélène-de-Breakeyville	zinc	113
	phénanthrène	77
	2-méthylnaphtalène	77
	butylbenzylphthalate	190
	acide palmitoléique	133
	acide palmitique	61
	acide oléique	138
	acide stéarique	163
Saint-Victor	phénanthrène	73
	di-n-butylphthalate	111
	phénol	590
	diéthylphthalate	119
	acide linoléique	380
	acide palmitoléique	87
	acide oléique	70
	<i>p-crésol</i>	
	<i>n-propylbenzène</i>	
	<i>2-chlorotoluène</i>	
<i>1,3,5-trichlorobenzène</i>		
<i>1,2,4-trichlorobenzène</i>		

Note : Les substances en italique proviennent de l'analyse des échantillons d'eau.

Saint-Ludger

C.S.M. Boisvert inc., une usine de textile située à Saint-Ludger, est une source potentielle de toxiques pour la rivière Chaudière. Les mousses aquatiques et les cellules à dialyse placées en aval de cette ville ont d'ailleurs détecté des apports de métaux, de HAP, d'un phtalate, de deux acides gras et d'un composé benzénique (tableau 18). De plus, l'échantillonnage réalisé un peu en aval en 1996 porte à croire que Saint-Ludger est aussi une source de BPC (annexe 6).

Comme dans le cas du manganèse à Lac-Mégantic, les concentrations d'aluminium et de chrome en aval de Saint-Ludger sont les plus fortes du bassin, mais elles ne sont pas vraiment élevées en comparaison des maximums atteints dans d'autres cours d'eau (figure 5).

Les rejets de Saint-Ludger n'ont pas d'impact immédiat sur la rivière car l'intégrité du milieu est au moins aussi bonne qu'en amont sur les sept kilomètres de cours d'eau en aval de la municipalité. Plus loin cependant, il y a une nette diminution de l'intégrité biologique du milieu (Martel et Richard, 1998). Les rejets de C.S.M. Boisvert et de la municipalité ont peut être un rôle à jouer dans cette chute, mais il est impossible de l'affirmer avec certitude.

Saint-Georges

Saint-Georges compte trois usines susceptibles de rejeter des toxiques : Dominion Textiles inc., Remdel inc. et Manac inc. Nous n'avons pas réussi à mettre en évidence des apports de toxiques dans la Chaudière à la hauteur de Saint-Georges. Ceci est probablement dû à la dilution des rejets de cette municipalité par trois tributaires importants : les rivières du Loup, Famine et Pozer. De plus, il est aussi possible que les traceurs n'aient pas capté les polluants émis à Saint-Georges, car ils étaient placés sur la rive droite de la rivière, alors que l'effluent municipal est sur la rive gauche. D'ailleurs, sur cette rive, Pelletier et St-Onge (1998) observent un impact sur la faune benthique.

Pour plusieurs substances, les concentrations en amont du barrage Sartigan sont élevées. Étonnamment, c'est à cet endroit que l'on obtient les valeurs les plus fortes du bassin en cuivre, plomb, vanadium, butylbenzylphtalate, acide oléique et acide linoléique. De plus, les échantillons d'eau y ont révélé la présence de chloroforme, de di-n-butylphtalate et de phénol. Plus haut sur la rivière, dans le secteur de Saint-Gédéon, on a constaté des impacts importants sur la communauté de poissons (Martel et Richard, 1998). Des mesures supplémentaires de toxiques ont donc été faites dans ce secteur en 1996, mais l'on a pas trouvé, pour les

substances à l'étude, de source encore active de contaminants.

Beauceville

Beauceville ne compte qu'un établissement industriel susceptible de rejeter des toxiques : Plancher Beauceville inc. De cette municipalité, il y a apport d'aluminium, de zinc et d'acide linoléique (tableau 18). La hausse de concentrations d'aluminium, quoique relativement modeste (39 %) est statistiquement significative.

Cependant, ces rejets ne semblent pas avoir d'effet très marqué sur l'écosystème aquatique. De l'amont à l'aval de Beauceville, l'état de la communauté benthique passe d'excellent à bon alors que le poisson demeure, de part et d'autre de la municipalité, en bonne situation (Pelletier et St-Onge, 1998; Martel et Richard, 1998).

Sainte-Hélène-de-Breakeyville

Sainte-Hélène-de-Breakeyville a été retenue car le groupe Cascades y exploite une usine de désencrage du papier. On n'y a pas détecté d'apport de BPC, ni de dioxines ou de furannes chlorés. Par contre, les concentrations de métaux sont en général un peu plus élevées en aval qu'en amont et, dans le cas du zinc, la différence est très nette : 111 % d'augmentation. Les concentrations de zinc mesurées à cet endroit sont les plus élevées du bassin. Il y également apport de deux HAP, d'un phtalate et de quatre acides gras (tableau 18).

Ces apports ne semblent pas avoir d'impact majeur sur l'écosystème aquatique. De l'amont à l'aval de Sainte-Hélène-de-Breakeyville, on constate même une amélioration de l'état du poisson et du benthos (Pelletier et St-Onge, 1998; Martel et Richard, 1998).

Saint-Victor

Saint-Victor, où se trouve une usine de textile (Lainages Victor ltée) est une source de toxiques organiques pour le Bras Saint-Victor. Les cellules à dialyse placées en aval de la municipalité ont absorbé du phénanthrène, du di-n-butylphtalate, du phénol, du diéthylphtalate et trois acides gras en quantités nettement supérieures à celles placées en amont. De plus, les échantillons d'eau révèlent la présence de composés benzéniques (p-crésol, n-propylbenzène, 2-chlorotoluène, 1,3,5-trichlorobenzène et 1,2,4-trichlorobenzène) qui n'ont pas été détectés aux autres stations (tableau 18).

Les rejets combinés de Lainages Victor ltée et des eaux non traitées de Saint-Victor ont un effet marqué sur l'écosystème du Bras Saint-Victor. La communauté

benthique, en excellent état en amont de ces rejets, se trouve en mauvaise situation en aval. On constate la disparition de nombreuses espèces d'organismes benthiques, une diminution de la biomasse et une nette prédominance des espèces caractéristiques des milieux pollués (Pelletier et St-Onge, 1998).

Comparaison à d'autres cours d'eau

Ce constat est analogue à ceux qui se dégagent d'autres cours d'eau où les mêmes techniques ont été employées. Dans l'ensemble, la situation de la Chaudière ressemble à celle de la rivière Châteauguay, un autre bassin agricole avec un certain nombre d'établissements industriels. Des concentrations de toxiques plus élevées et, surtout, un plus grand nombre de substances ont été trouvées dans les rivières L'Assomption, Saint-François, Yamaska et Richelieu.

Le fait que la contamination dans la Chaudière soit globalement moins importante que dans d'autres cours d'eau ne veut pas dire pour autant que la situation actuelle est satisfaisante. À Saint-Ludger et Saint-Victor notamment, on observe des apports de polluants qui semblent se conjuguer à des impacts sur l'écosystème aquatique. À Saint-Victor, l'impact des rejets industriels et domestiques est majeur, évident et visible immédiatement en aval de la municipalité. En aval de Saint-Ludger, où l'on détecte notamment des BPC, l'impact n'est visible que plus loin sur le cours d'eau et, pour cette raison, le lien avec les rejets de la municipalité est moins certain. Quoi qu'il en soit, il faudrait porter une attention particulière à ces deux municipalités pour l'assainissement des eaux du bassin.

Ce rapport dresse un premier portrait de la contamination de la rivière Chaudière par les métaux et un certain nombre de substances toxiques. Il serait intéressant de refaire cette évaluation quand tous les rejets urbains et industriels seront adéquatement traités. Il sera alors possible de mesurer les bénéfices environnementaux des efforts déployés pour assainir et protéger la rivière Chaudière.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier plusieurs membres du personnel du ministère de l'Environnement et de la Faune qui ont contribué à la réalisation de cette étude : Jean-Phillipe Baillargeon, Ingrid Khouzam, Sylvie Legendre et Denis Robichaud pour l'échantillonnage; Charles Brochu, Christian DeBlois, Gilles Labbé, Annie Laverdière, Andrée Gendron, Marc Gignac, Guy Hamelin, Michel McNeil, Serge Moore, Nicole Nadeau, Serge Noël,

Louise Simoneau, Lucie Tremblay, Paule Tremblay et Diane Veillette pour les analyses chimiques; Sylvie Cloutier pour la révision scientifique du rapport; Josée Lecompte pour la révision linguistique; Francine Dufour pour la dactylographie et la mise en forme; Francine Matte-Savard pour le graphisme. Nos remerciements vont également à Marc Duchemin, étudiant au doctorat à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-EAU) qui a lu et judicieusement commenté la version préliminaire de ce rapport.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AULIO, K., 1985. Metal Accumulation Capacity of Five Species of Sphagnum Moss, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 35 : 439-442.
- BAILLARGEON, G. et J. RAINVILLE, 1977. *Statistique appliquée*, Les Éditions SMG, Trois-Rivières, Québec, 594 pages + tables et annexes.
- BERRYMAN, D., 1991. *Mise à l'essai et comparaison de cinq traceurs de substances toxiques sur le Saint-Maurice*, ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau, envirodoq n° EN910345, collection : QEN/QE 72/1, 74 p.
- BERRYMAN, D., 1993. *Mise à l'essai et comparaison de cinq traceurs de substances toxiques dans la rivière L'Assomption*, ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau, envirodoq n° EN920513, collection : QEN/QE-79/1, 84 p. + 4 annexes.
- BERRYMAN, D., 1996a. *Le bassin versant de la rivière Saint-François : contamination de l'eau par les métaux et certaines substances toxiques organiques*, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction des écosystèmes aquatiques, envirodoq n° EN960252, rapport n° EA-1, 44 p. + 4 annexes.
- BERRYMAN, D., 1996b. *Le bassin versant de la rivière Châteauguay : contamination de l'eau par les métaux et certaines substances toxiques organiques*, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction des écosystèmes aquatiques, envirodoq n° EN960453, rapport n° EA-6, 34 p. + 4 annexes.

- BIRKHOLZ, D.A., R. ROGERS, J.S. GOUDEY, et J. SEVIGNY, 1996. *Incorporation of Toxicity Tests and SPMDs in the Design of Environmental Impact Assessments*, compte rendu du 23^e Atelier de toxicologie aquatique.
- BURTON, M. A., 1990. Terrestrial and Aquatic Bryophytes as Monitors of Environmental Contaminants in Urban and Industrial Habitats, *Botanical Journal of the Linnean Society* 104 : 267-280.
- CCMRE, 1987. *Recommandations pour la qualité des eaux du Canada*, Conseil canadien des ministères des Ressources et de l'Environnement.
- CONOVER, W. J., 1980. *Practical Non-parametric Statistics*, 2nd edition, Wiley, New York, 462 p.
- CRECELIUS, E.A., G.A. RAUSINA, W.R.BIGGS et W.R.GALA, 1996. Using Semipermeable Membrane Devices (SPMDS) to Estimate Bioconcentration Potential of Petroleum Additives, dans : Abstract Book, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 17th Annual Meeting, 17-21 November 1996, Washington, p. 311.
- GONCALVES, E.P.R., R.A.R. BOAVENTURA et C. MOUVET, 1992. *Science of the Total Environment* 114 : 7.
- GSI Environnement inc., 1997. Caractérisation des effluents des laveurs humides pour rejet à la rivière; lettre aux Industries Manufacturières Mégantic.
- HERVE, S., R. Pauku, J. Paasivirta, P. Heinonen et A. Södergren, 1991. Uptake of Organochlorines from Lake Water by Hexane-Filled Dialysis Membranes and by Mussels, *Chemosphere*, vol. 22, n° 11, pp. 997-1001.
- HOFELT, C.S. et D. SHEA, 1996. *The Semipermeable Membrane Device : Configuration and Kinetics*, dans : Abstract Book, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 17th Annual Meeting, 17-21 November 1996, Washington, p. 29.
- HUCKINS, J.N., J.D. PETTY, J.C. MEADOWS, K.R. ECHOLS, R.W. GALE, J.A. LEBO, C.E. ORAZIO et D.E. TILLITT, 1996. *How Chemical Uptake by Semipermeable Membrane Device (SPMDs) Relates to Bioconcentration and Basis Comparison*, dans : Abstract Book, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 17th Annual Meeting, 17-21 November 1996, Washington, p. 217.
- HUCKINS, J. N., M. W. TUBERGEN et G. K. MANUWEERS, 1990. Semipermeable Membranes Devices Containing Model Lipid : A New Approach to Monitoring the Bioavailability of Lipophilic Contaminants and Estimating their Bioconcentration Potential, *Chemosphere* 20(5) : 533-552.
- HUFF, T., G. FOSTER, et D. KELSO, 1996. *Use of Semipermeable Membrane Devices for Estimating Bioconcentration Factors of Hydrophobic Organic Contaminants in Corbicula*, dans : Abstract Book, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 17th Annual Meeting, 17-21 November 1996, Washington, p. 217.
- LALONDE, GIROUARD, LETENDRE ET ASSOCIÉS, 1993. *Rejet de HAP à l'environnement au Canada*, 1990, rapport préparé pour Environnement Canada, région du Québec, Montréal, pagination multiple.
- LEFKOVITZ, L. et E. CRECELIUS, 1996. *The Use of SPMDs Consisting of Polyethylene Alone to Predict Dissolved-Phase Organics in the Columbia River*, dans : Abstract Book, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 17th Annual Meeting, 17-21 November 1996, Washington, p. 217.
- MACKAY, D., E. BENNET et T. METCALFE, 1996. *A Fundamental Study and Predictive Model of the Uptake and Release of Chemicals by Semi-permeable Membrane Devices (SPMDs)*, dans : Abstract Book, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 17th Annual Meeting, 17-21 November 1996, Washington, p. 30.
- MARTEL, N. et Y. RICHARD. 1998. Le bassin de la rivière Chaudière : les communautés ichtyologiques et l'intégrité biotique du milieu, pages 5.1 à 5.34, dans ministère de l'Environnement et de la Faune (éd.), *Le bassin de la rivière Chaudière : l'état de l'écosystème aquatique — 1996*, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, envirodoq n° EN980022.
- MAKEPEACE, D. K., D. W. SMITH ETS. J. zSTANLEY. 1995. Urban Storm Water Quality : Summary of Contaminant Data, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 25(2) : 93-139.
- MEF, 1997. *Le ministère de l'Environnement et de la Faune, Une organisation au service de ses clientèles*, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, envirodoq n° EN970133, p. 37.

- MEF, 1994. *Base de données sur les industries*, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction des politiques du secteur industriel et Direction régionale Chaudière-Appalaches.
- MENVIQ, 1992. *Critères de qualité de l'eau*, Ministère de l'Environnement du Québec, Service d'évaluation des rejets toxiques et Direction de la qualité des cours d'eau, Québec, envirodoq n° EN930144, 425 p.
- MENVIQ, 1991a. *Inventaire des lieux d'élimination des déchets dangereux au Québec, région 12 Chaudière-Appalaches*, ministère de l'Environnement du Québec, Direction des programmes de gestion des déchets et des lieux contaminés, rapport n° SD/990-2.
- MENVIQ, 1991b. *Inventaire des lieux d'élimination des déchets dangereux au Québec, région 5 Estrie*, Ministère de l'Environnement du Québec, Direction des programmes de gestion des déchets et des lieux contaminés, rapport n° SD/990-2.
- MOUVET, C., 1986. *Métaux lourds et mousses aquatiques - Synthèse méthodologique*, Rapport de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 110 p.
- MOUVET, C., 1991. *Métaux lourds et mousses aquatiques - Standardisation des aspects analytiques - 1^{re} phase : tests préliminaires à la calibration multilaboratoires*, BRGM, Service géologique national, rapport n° R 32 744, PR 9304600317, 68 p.
- PARROT, J.L., P.V. HODSON, D.E. TILLITT, D.T. BENNIE et M.E. COMBA, 1996a. *Accumulation of Fish Mixed Function Oxygenase Inducers by Semipermeable Membrane Devices in River Water and Effluents, Athabasca River, August and September, 1994*, Northern River Basins Study, Edmonton, Alberta, Canada. Project report ISSN 1192-3571; n° 127, 62 p.
- PARROT, J.L., J.J. WHYTE, S.M. BACKUS et M.E. COMBA, 1996b. *Accumulation of Fish Mixed Function Oxygenase Inducers by Semipermeable Membrane Devices in River Water and Effluents, Athabasca, Peace and Wapiti Rivers, August and September, 1995*, Northern River Basins Study, Edmonton, Alberta, Canada. Project report ISSN 1192-3571; n° 83, 31 p. + annexes.
- PELLETIER, L. et J. ST-ONGE, 1998. Le bassin de la rivière Chaudière : les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu, pages 4.1 à 4.43, dans ministère de l'Environnement et de la Faune (éd.), *Le bassin de la rivière Chaudière : l'état de l'écosystème aquatique* — 1996, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, envirodoq n° EN980022.
- PETTY, J.D., J.N. HUCKINS, D.B. MARTIN et T.G. ADORNATO, 1995. Use of Semipermeable Membrane Devices (SPMDs) to Determine Bioavailable Organochlorine Pesticide Residues in Streams Receiving Irrigation Drainwater, *Chemosphere*, vol. 30, n° 10 pp. 1891-1903.
- S.A.S INSTITUTE, 1989. *SAS/STAT User's Guide, Version 6*, Fourth Edition, Volume 2, Cary NC, 943 p.
- SATAKE, K et M. NISHIKAWA, 1990. Accumulation of Scandium in the Shoots of Aquatic Bryophytes in Acid Water, *Hydrobiologia* 199 : 173-177.
- SAY, P.J., J.P.C. HARDING et B.A. WHITTON, 1981. Aquatic Mosses as Monitors of Heavy Metal Contamination in the River Etherow, Great Britain, *Environmental Pollution (Series B)* 2 : 295-307.
- SÖDERGREN, A. 1987. Solvent-Filled Dialysis Membranes Simulate Uptake of Pollutants by Aquatic Organisms, *Environmental Science and Technology* 21(9) : 855 - 859.
- SÖDERGREN, A. 1990. Monitoring of Persistent Lipophilic Pollutants in Water and Sediment by Solvent-filled Dialysis Membranes, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 19 : 143 - 149.
- SODERLUND, S., A. FORSBERG et M. PEDERSEN, 1988. Concentrations of Cadmium and Other Metals in *Fucus vesiculosus* L. and *Fontinalis dalecarlica* Br. Eur. from the Northern Baltic Sea and the Southern Bothnian Sea, *Environmental Pollution* 51 : 97-212.
- WHYTE, J.J., N. KARROW, S. MAGDIC, D.G. DIXON et N.C. BOLS, 1996. *Use of SPMDs and Rainbow Trout to Examine CYP1A1 Induction in Creosote Contaminated Mesocosms*, dans : Abstract Book, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 17th Annual Meeting, 17-21 November 1996, Washington, 217 p.

Annexe 1 Sommaire des méthodes d'analyse chimique

1. BPC (Arochlor 1254) et pesticides organochlorés

L'échantillon est homogénéisé en présence d'un mélange d'acétone et d'hexane (1:4) et de sulfate de sodium. L'extrait organique est filtré sur filtre Millipore puis concentré.

Cet extrait est ensuite purifié et fractionné par chromatographie d'exclusion moléculaire (GPC), puis après concentration de la partie d'intérêt, par micro-colonne de florisil.

Après concentration, l'extrait résultant est dosé par chromatographie en phase gazeuse et détecteur à capture électronique. Les concentrations de biphényles polychlorés et de pesticides organochlorés sont calculées en comparant les hauteurs des pics des produits de l'échantillon à ceux obtenus avec des solutions étalons de concentration connue.

L'ajout de sulfate de sodium et la purification par GPC n'ont pas été utilisées pour l'analyse des mousses aquatiques. Dans le cas des cellules à dialyse, les étapes d'homogénéisation et d'extraction ne sont pas nécessaires; l'échantillon est simplement concentré et dosé.

2. Composés organiques semi-volatils et acides résiniques dans les cellules à dialyse

Dans le cas des acides gras et résiniques, la méthode consiste en un échange de solvant suivi d'une dérivation au diazométhane générée dans un micro-système. Le dosage s'effectue à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masses à secteur magnétique à haute résolution. Des standards internes deutérés sont utilisés lors de la quantification.

La même procédure est suivie pour l'analyse des phénols, sauf que les standards internes sont des produits marqués au carbone 13.

Dans le cas des HAP, la méthode consiste en un échange de solvant suivi d'un dosage par chromatographe en phase gazeuse « on column » couplé à un spectromètre de masse à secteur magnétique à haute résolution. Des standards internes deutérés sont utilisés pour la quantification.

3. Métaux

Pour les métaux autres que le mercure (Mn, Fe, Mg, Cu, Zn, Ni, Al, V, Pb, Cr, Cd), la procédure commence par une digestion à l'acide nitrique concentrée. La digestion est suivie d'une solubilisation dans un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique. Le dosage est ensuite effectué sur un appareil au plasma. Dans le cas des tissus végétaux (mousses aquatiques), la solubilisation est effectuée dans du peroxyde d'hydrogène.

Pour l'analyse du mercure, la digestion est commencée avec un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentrée et poursuivie avec du permanganate de potassium. Le précipité est dissout dans du peroxyde d'hydrogène puis dosé à l'aide d'un détecteur de mercure.

Annexe 2 Concentrations (mg/kg) de métaux dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor

Station	N ^o 1	Aluminium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercure	Magnésium	Manganèse	Nickel	Plomb	Vanadium	Zinc
4	A2	5800	19	21	32000	0,12	1700	1500	15	23	39	1100
	A3	5300	19	11	34000	0,11	1800	2300	16	17	39	1000
	A4	5000	23	11	27000	0,11	1500	1600	17	18	35	790
	B2	5000	16	13	32000	0,10	1900	2600	16	16	34	190
5	A1	4800	20	14	22000	0,09	1400	1100	18	18	31	360
	A2	4400	12	14	28000	0,09	1600	1200	12	24	28	500
	A3	4400	15	17	28000	0,11	1500	1900	13	20	30	340
	B2	5000	16	16	31000	0,10	2100	2800	16	16	32	260
17	A1	5000	12	19	32000	0,11	1900	2900	11	18	27	210
	A2	4800	13	21	28000	0,10	1700	1900	10	15	28	340
	B1	5200	15	14	30000	0,10	1600	2200	12	19	31	510
	B2	5300	15	13	34000	0,11	2000	3700	14	17	31	410
18	A1	3300	9	16	23000	0,07	1700	2000	8	14	23	200
	A2	3900	12	16	28000	0,11	1600	3000	9,5	15	26	220
	B1	3600	9,6	17	26000	0,08	1600	2000	9	20	25	270
	B2	3800	11	16	28000	0,11	1600	2800	10	17	26	160
19	A1	4200	11	15	20000	0,10	1300	630	7,8	21	25	480
	A2	4700	11	13	33000	0,09	1600	2000	9,4	17	31	230
	B1	3800	11	10	24000	0,09	1600	1400	7,6	18	22	350
	B2	4800	17	20	26000	0,09	1700	810	11	17	29	220
21	A1	5600	20	21	24000	0,08	1600	1100	14	23	35	840
	A2	6500	23	20	33000	0,08	1900	1500	15	24	42	680
	B1	6000	21	21	26000	0,09	1400	720	14	36	38	250
	B2	5200	21	22	23000	0,09	1600	1200	14	31	32	620
27	A1	4600	18	16	28000	0,10	2100	2800	13	16	26	170
	A2	7500	20	17	48000	0,11	2700	6000	18	33	41	310
	B1	6100	24	20	36000	0,07	2100	130	17	20	37	230
	B2	7600	36	17	39000	0,08	2600	4800	26	24	34	180
28	A1	3900	17	13	27000	0,11	2000	2900	39	18	23	180
	A2	4700	11	17	27000	0,10	2200	2700	10	14	24	180
	B1	5000	13	13	32000	0,10	2100	3700	14	22	29	170
	B2	5400	20	20	32000	0,08	2500	3700	21	16	31	230
30	A1	5100	17	13	36000	0,00	2000	3900	16	18	29	160
	A2	4400	12	12	32000	0,10	1800	2700	11	19	29	200
	B1	4900	16	13	38000	0,12	4100	4100	15	28	30	230
	B2	6100	21	16	45000	0,15	2600	6300	22	30	35	270
31	A1	3900	16	12	28000	0,11	1800	1700	12	20	26	370
	A2	3700	17	16	28000	0,14	1800	2300	13	32	23	330
	B1	4600	24	15	30000	0,10	1800	1500	15	19	30	360
	B2	4900	24	12	36000	0,12	2000	3500	17	20	31	390
V1	A1	3500	5,4	15	23000	0,12	1400	770	13	21	23	230
	A2	3900	12	28	25000	0,15	1500	580	19	41	25	380
	B1	4400	14	16	26000	0,10	1500	800	18	21	29	320
	B2	3100	7,6	23	21000	0,13	1400	450	14	17	20	350
V3	A1	3600	11	16	23000	0,11	1600	1500	18	20	23	200
	A2	3800	8,8	23	28000	0,11	1900	2700	21	22	22	170
	B1	3800	13	22	25000	0,10	1500	1500	19	18	24	190
	B2	3100	8,3	19	23000	0,11	2600	2600	19	14	21	300

¹ La lettre désigne la cage et le chiffre le sachet de mousse aquatique.

Annexe 3 Concentrations (pg/g) de dioxines et furannes chlorés dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière

Station No ¹	4			5		
	A1	B1	C1	B1	B3	B4
Substance						
2378-TCDD	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,9	< 0,8	< 0,6
12378-P5CDD	< 0,4	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,3	< 0,5
123478-H6CDD	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,8	< 0,7	< 0,8
123678-H6DD	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,4	< 0,5	< 0,6
123789--H6DD	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,6	< 0,6	< 0,7
1234678-H7CDD	7,4	< 0,1	< 0,1	10	6,8	7,2
2378-T4CDF	< 0,2	< 0,2	< 0,2	2,4	2,7	< 0,7
12378-P5CDF	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,5	< 0,4	< 0,5
23478-P5CDF	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,5	< 0,4	< 0,5
123478-H6CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,3	< 0,7
123678-H6CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,9	< 0,2	< 0,6
234678-H6CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,3	< 0,7
123789-H6CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,4	< 0,9
1234678-H7CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,2	< 0,2
1234789-H7CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,4	< 0,3
T4CDD	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,9	< 0,8	< 0,6
P5CDD	< 0,4	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,3	< 0,5
H6CDD	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,4	< 0,5	< 0,6
H7CDD	7,4	< 0,1	< 0,1	10	6,8	7,2
0CDD	33,3	39	25,7	33,5	26,6	27,5
T4CDF	0,9	< 0,2	1	2,4	2,7	< 0,7
P5CDF	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,5	< 0,4	< 0,5
H6CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,9	< 0,2	< 0,6
H7CDF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,2	< 0,2
OCDF	2,9	< 0,1	< 0,1	3,4	< 0,3	3,4

¹ La lettre désigne la cage et le chiffre le sachet de mousses aquatiques.

Annexe 4 Concentrations ($\mu\text{g/l}$) de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor

Station	N ^{o1}	phénol	1,4-dichloro benzène	naphthalène	2- méthyl naphthalène	acénaphthylène	dibenzo furane	diethyl- phatalate	phénanthrène
4	A1	< 0,2	38	16	6,8	< 0,1	< 0,1	1,2	1,3
	A2	< 0,2	42	17	5,6	< 0,1	< 0,1	0,9	1,2
	A3	< 0,2	18	15	5,5	< 0,1	< 0,1	0,9	1,5
	B2	< 0,2	20	12	4,9	< 0,1	< 0,1	0,8	1,1
	B4	< 0,2	47	19	6,1	< 0,1	< 0,1	0,9	1,1
5	A3	< 0,2	---	---	---	---	< 0,1	< 0,2	< 0,2
	A4	< 0,2	18	8	2,6	< 0,1	< 0,1	0,8	0,8
	B1	---	60	18	5,4	< 0,1	< 0,1	1,3	0,9
	B2	< 0,2	14	6	1,8	< 0,1	< 0,1	0,9	0,9
	B3	< 0,2	---	---	---	---	< 0,1	0,9	0,8
17	A1	< 0,2	12	4,7	2,5	< 0,1	< 0,1	< 0,2	0,7
	A2	---	---	---	---	---	< 0,1	0,7	0,9
	A3	2,9	20	8,3	3,1	< 0,1	< 0,1	0,6	0,8
	B1	1,6	15	7,1	2,9	< 0,1	< 0,1	0,9	0,9
	B2	0,9	9,2	6,3	2,7	< 0,1	< 0,1	0,8	0,7
18	A1	2,4	24	8,3	3,2	< 0,1	< 0,1	0,8	0,7
	A2	< 0,2	14	7,1	2,9	< 0,1	< 0,1	0,8	0,7
	A3	< 0,2	18	7,4	2,5	< 0,1	< 0,1	0,5	0,7
	B2	3,2	14	7,1	2,7	< 0,1	< 0,1	0,7	0,7
	B4	3,6	21	7,7	2,7	< 0,1	< 0,1	< 0,2	0,7
19	A1	< 0,2	29	11	3,8	< 0,1	< 0,1	1	0,7
	A4	< 0,2	20	8,6	2,8	< 0,1	< 0,1	1,3	0,6
	B1	2,2	12	6,4	2,2	< 0,1	< 0,1	< 0,2	0,7
	B2	1,3	28	11	4,8	< 0,1	< 0,1	0,8	0,7
	B3	1,7	22	8,8	3,1	< 0,1	< 0,1	1,1	0,7
21	A1	3	30	13	4,4	< 0,1	< 0,1	1,7	0,7
	A4	---	---	---	---	---	< 0,1	1,2	0,5
	B2	< 0,2	12	4,8	1,8	< 0,1	< 0,1	1,3	0,4
	B3	< 0,2	15	8	2,3	< 0,1	< 0,1	1	0,5
	B4	< 0,2	22	14	5	< 0,1	< 0,1	0,9	0,7
27	A1	2,7	33	18	6	< 0,1	< 0,1	0,9	1
	A2	---	---	---	---	---	< 0,1	3,9	0,8
	A3	---	---	---	---	---	< 0,1	1,5	0,9
	B1	---	---	---	---	---	< 0,1	0,8	0,7
	B3	1,1	53	20	10	< 0,1	< 0,1	1,4	0,9
28	A1	0,9	21	7	3	< 0,1	< 0,1	0,5	0,4
	A3	1,6	18	9	4	< 0,1	< 0,1	0,9	0,4
	A4	1	21	10	4	< 0,1	< 0,1	0,8	0,5
	B1	1,1	14	8	5	< 0,1	< 0,1	0,8	0,7
	B2	1,6	29	15	6	< 0,1	< 0,1	1	0,7
30	A2	2	10	6,5	5	< 0,1	< 0,1	0,7	0,4
	A3	2	13	8	5	< 0,1	< 0,1	0,6	0,7
	B1	1,3	33	13	8	< 0,1	< 0,1	0,4	0,5
	B2	1	21	11	8	< 0,1	< 0,1	0,7	0,8
	B3	1,2	38	17	9	< 0,1	< 0,1	0,3	0,7
31	A1	3	22	14	11	< 0,1	< 0,1	0,7	0,5
	A2	2	22	15	10	< 0,1	< 0,1	0,7	0,5
	A3	2,5	21	16	12	0,2	0,2	1,2	0,8
	B1	5	9	9	8	0,2	0,1	0,9	0,3
	B2	5	12	11	9	< 0,1	< 0,1	1,3	0,3
V1	A1	7	15	8	3	< 0,1	< 0,1	2	0,8
	A2	---	---	---	---	---	< 0,1	< 0,2	1
	A3	3	13	8	2	< 0,1	< 0,1	2	0,7
	A4	1	15	7	2,6	< 0,1	< 0,1	2	0,8
	B1	2,8	15	7	2,2	< 0,1	< 0,1	1,8	0,5
V3	A1	< 0,2	10	5	1,5	< 0,1	< 0,1	0,7	0,4
	A2	< 0,2	12	6	1,6	< 0,1	< 0,1	0,6	0,4
	A3	0,4	14	8	2,6	< 0,1	< 0,1	0,5	0,5
	B1	< 0,2	17	7	2	< 0,1	< 0,1	0,7	0,3
	B2	1,8	15	7	2,2	< 0,1	< 0,1	1,1	0,6

¹ La lettre désigne la cage et le chiffre la cellule à dialyse.

Annexe 4 Concentrations ($\mu\text{g/l}$) de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor (suite)

Station	N ^o 1	di-n-butyl- phtalate	fluoranthène	pyrène	butylbenzyl- phtalate	benzo(a) anthracène	chrysène	bis(2-éthyl hexyl)- phtalate	di-n-octyl- phtalate
4	A1	26	< 0,2	< 0,2	6	< 0,4	< 0,6	21	< 2
	A2	19	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	15	< 2
	A3	23	< 0,2	< 0,2	6	< 0,4	< 0,6	7	< 2
	B2	20	< 0,2	< 0,2	6	< 0,4	< 0,6	15	< 2
	B4	23	< 0,2	< 0,2	9	< 0,4	< 0,6	15	< 2
5	A3	13	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	7	< 2
	A4	18	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	15	< 2
	B1	17	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	28	< 2
	B2	14	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	16	< 2
	B3	17	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	17	< 2
17	A1	10	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	10	< 2
	A2	8,5	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	10	< 2
	A3	16	0,4	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	11	< 2
	B1	14	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	16	< 2
	B2	12	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	12	7,4
18	A1	14	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	13	< 2
	A2	14	< 0,2	< 0,2	< 4	4,7	< 0,6	7,9	< 2
	A3	11	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	10	< 2
	B2	18	< 0,2	< 0,2	4,7	< 0,4	< 0,6	9,8	< 2
	B4	11	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	7,1	< 2
19	A1	13	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	11	2,7
	A4	10	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	10	< 2
	B1	17	< 0,2	< 0,2	5,8	< 0,4	< 0,6	8,4	< 2
	B2	9,1	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	14	< 2
	B3	12	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	13	< 2
21	A1	13	< 0,2	< 0,2	5,1	< 0,4	< 0,6	16	< 2
	A4	22	< 0,2	< 0,2	12	< 0,4	< 0,6	18	6,4
	B2	10	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	19	< 2
	B3	11	< 0,2	< 0,2	21	< 0,4	< 0,6	18	< 2
	B4	13	< 0,2	< 0,2	23	< 0,4	< 0,6	17	< 2
27	A1	3	< 0,2	< 0,2	11	< 0,4	< 0,6	16	< 2
	A2	26	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	17	25	2,7
	A3	27	< 0,2	< 0,2	9	< 0,4	15	23	< 2
	B1	16	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	15	25	< 2
	B3	19	< 0,2	< 0,2	5	< 0,4	< 0,6	18	< 2
28	A1	13	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	20	< 2
	A3	14	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	14	< 2
	A4	13	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	11	6,4
	B1	16	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	20	< 2
	B2	16	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	14	< 2
30	A2	13	< 0,2	0,6	< 4	< 0,4	< 0,6	13	< 2
	A3	12	< 0,2	0,8	< 4	< 0,4	< 0,6	25	< 2
	B1	12	0,5	0,6	11	< 0,4	< 0,6	11	< 2
	B2	13	0,5	0,7	< 4	< 0,4	< 0,6	7	< 2
	B3	13	0,5	0,7	6	< 0,4	< 0,6	16	< 2
31	A1	12	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	7	< 2
	A2	12	0,3	0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	21	< 2
	A3	17	0,3	0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	17	3
	B1	11	0,2	0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	15	4
	B2	17	< 0,2	0,2	6	< 0,4	< 0,6	18	11
V1	A1	20	< 0,2	< 0,2	6	< 0,4	< 0,6	14	< 2
	A2	16	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	13	< 2
	A3	14	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	10	< 2
	A4	16	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	14	4
	B1	15	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	21	8
V3	A1	6	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	15	5
	A2	9	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	18	10
	A3	7	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	18	11
	B1	8	< 0,2	< 0,2	< 4	< 0,4	< 0,6	17	5
	B2	8	< 0,2	< 0,2	6	< 0,4	< 0,6	14	5

¹ La lettre désigne la cage et le chiffre la cellule à dialyse.

Annexe 5 Concentrations ($\mu\text{g/l}$) d'acides gras et résiniques dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière et le Bras Saint-Victor

Station	N ^o 1	Acide palmitoléique	Acide palmitique	Acide linoléique	Acide linoléinique	Acide oléique	Acide stéarique	Acide pimérique	Acide déhydroabiétique
4	A1	4	14	< 2	< 2	11	8	< 1	< 1
	A2	5	8	< 2	< 2	3	4	< 1	< 1
	A3	4	9	< 2	< 2	7	4	< 1	< 1
	B2	4	< 1	< 2	< 2	3	< 2	< 1	< 1
	B4	4	12	< 2	< 2	7	4	< 1	< 1
5	A3	3	3	< 2	< 2	3	< 2	< 1	< 1
	A4	< 1	3	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	B1	2	11	< 2	< 2	7	4	< 1	< 1
	B2	< 1	4	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	B3	3	6	7	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
17	A1	< 1	3	4	< 2	4	< 2	< 1	< 1
	A2	2	5	5	< 2	5	< 2	2	< 1
	A3	2	< 1	< 2	< 2	< 2	7	< 1	< 1
	B1	2	2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	B2	3	4	10	< 2	17	< 2	< 1	< 1
18	A1	< 1	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	A2	< 1	2	< 2	< 2	3	< 2	< 1	< 1
	A3	2	4	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	trace
	B2	< 1	3	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	trace
	B4	< 1	5	< 2	< 2	6	4	< 1	< 1
19	A1	3	3	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	A4	< 1	2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	B1	< 1	6	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	B2	7	9	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
	B3	< 1	< 1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1
21	A1	6	6	86	< 2	18	3	< 1	< 1
	A4	5	5	22	< 2	11	< 2	< 1	< 1
	B2	5	5	53	< 2	15	< 2	< 1	< 1
	B3	8	8	9	< 2	12	< 2	< 1	trace
	B4	14	15	16	< 2	16	4	< 1	< 1
27	A1	9	8	10	< 2	10	3	< 1	< 1
	A2	13	13	14	< 2	16	< 2	< 1	< 1
	A3	13	14	5	< 2	11	4	< 1	< 1
	B1	11	14	4	< 2	12	4	< 1	< 1
	B3	9	20	< 2	< 2	8	4	< 1	< 1
28	A1	11	19	< 2	< 2	8	3	< 1	< 1
	A3	18	21	< 2	< 2	11	3	< 1	< 1
	A4	12	10	< 2	< 2	3	< 2	< 1	< 1
	B1	2	5	< 2	< 2	3	< 2	< 1	< 1
	B2	2	12	< 2	< 2	5	3	< 1	< 1
30	A2	10	10	< 2	< 2	3	< 2	< 1	< 1
	A3	7	9	< 2	< 2	4	< 2	< 1	< 1
	B1	7	8	< 2	< 2	7	4	< 1	< 1
	B2	15	19	< 2	< 2	7	3	< 1	< 1
	B3	13	19	2	< 2	8	3	< 1	< 1
31	A1	18	15	3	< 2	4	3	< 1	< 1
	A2	18	13	3	< 2	7	< 2	< 1	< 1
	A3	10	9	6	< 2	3	< 2	< 1	< 1
	B1	22	20	10	< 2	10	3	< 1	< 1
	B2	24	19	10	< 2	10	3	< 1	< 1
V1	A1	9	18	8	< 2	11	14	< 1	< 1
	A2	10	18	9	< 2	10	9	< 1	< 1
	A3	5	12	3	< 2	9	9	< 1	< 1
	A4	9	13	< 2	< 2	6	5	< 1	< 1
	B1	10	19	3	< 2	10	6	< 1	< 1
V3	A1	4	10	< 2	< 2	5	3	< 1	< 1
	A2	3	8	< 2	< 2	3	3	< 1	< 1
	A3	5	13	< 2	< 2	9	3	< 1	< 1
	B1	5	35	< 2	< 2	5	18	< 1	< 1
	B2	6	16	< 2	< 2	5	3	< 1	< 1

¹ La lettre désigne la cage et le chiffre la cellule à dialyse

Annexe 6 Mesures supplémentaires effectuées dans le secteur de Saint-Gédéon en 1996

INTRODUCTION

Les échantillonnages réalisés dans la rivière Chaudière en 1994 ont révélé une importante dégradation de sa communauté piscicole dans le secteur de Saint-Gédéon (Martel et Richard, 1998). À la station 26, située en amont de l'ancien dépotoir municipal, la communauté de poissons est en bon état, avec un indice d'intégrité biotique (IIB) d'une valeur de 48. À la station 25, située en aval du dépotoir et immédiatement en amont de la municipalité, l'indice IIB chute à 39. Avec une telle cote, la communauté de poissons est dans un état jugé moyen. À la station 24, située à environ deux kilomètres en aval de la municipalité, l'IIB est à 24, ce qui est considéré très faible.

En 1994, les stations 24 à 26 n'ont pas fait l'objet de mesures à l'aide des traceurs de substances toxiques. Cependant, les mesures faites à la station 21, à 25,5 kilomètres en aval de la station 24 et 2 km en amont du barrage Sartigan, révèlent des concentrations relativement élevées de plusieurs métaux, de butylbenzylphthalate, d'acide linoléique et d'acide oléique. Des mesures supplémentaires ont donc été faites à l'été 1996 pour vérifier s'il y a un apport de toxiques dans la rivière Chaudière à la hauteur de Saint-Gédéon. Un tel apport pourrait expliquer les impacts observés sur la communauté de poissons et les concentrations élevées de certaines substances à la station 21. Une source potentielle d'un tel apport est l'ancien dépotoir municipal de Saint-Gédéon, qui contient des substances toxiques. Ce site a été restauré et les substances confinées en 1993.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie est la même que celle utilisée en 1994 et décrite dans le corps du rapport. Deux cages ont été placées aux stations 24, 25 et 26. Chaque cage contenait quatre cellules à dialyse et deux sachets de mousses aquatiques y étaient fixés.

Les cages ont été mouillées le 11 juin 1996. Les mousses aquatiques ont été retirées de la rivière le 25 juin 1996 et analysées pour les métaux, les congénères de BPC et les dioxines et furannes chlorés. Les cellules à dialyse ont été relevées le 9 juillet 1996 et analysées pour les composés organiques semi-volatils.

RÉSULTATS

Métaux

Les résultats de l'analyse des métaux dans les mousses aquatiques sont présentés au tableau 1 et illustrés à la figure 1. Dans l'ensemble, on constate qu'il n'y a pas de différence marquée entre les concentrations de métaux mesurées aux trois stations en 1996.

Sauf pour le mercure, on constate, de la station 26 à la station 25, une légère augmentation de la concentration moyenne de métaux. Malgré ces hausses apparentes, les valeurs aux deux stations se trouvent dans la même gamme de concentrations.

De la station 25 à la station 24, il y a huit métaux qui présentent une hausse apparente de la concentration moyenne et cinq qui présentent une baisse. Encore ici, les différences de moyennes sont faibles et les domaines de variabilité des concentrations aux deux stations se chevauchent.

Congénères de BPC

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse des congénères de BPC. La figure 2 illustre les résultats pour la somme des congénères. À 91 000 pg/g, les concentrations à la station 26 sont nettement plus élevées qu'en aval aux stations 25 et 24. Les valeurs à la station 26 sont parmi les plus élevées trouvées dans les cours d'eau du Québec où la méthode des mousses aquatiques a été employée. Elles se distinguent des valeurs aux deux autres stations qui correspondent au bruit de fond mesuré en maints endroits.

Cette diminution des concentrations de l'amont vers l'aval porte à croire que les BPC ne sont pas à l'origine de l'impact observé sur la communauté de poissons. Cependant, les valeurs élevées à la station 26 indiquent qu'il y a un apport de BPC au cours d'eau, probablement à Saint-Ludger, située 9 km plus haut sur la rivière. Il y aurait lieu de vérifier la présence de BPC dans les sources potentielles de cette municipalité.

Dans l'ensemble, ce sont les mêmes congénères de BPC qui sont détectés aux trois stations (tableau 2). Il y a une nette prédominance des BPC à trois, quatre ou cinq atomes de chlore. Quatre des sept formes à six atomes de chlore sont systématiquement présentes, mais en concentrations plus faibles. Les congénères à sept, huit ou neuf atomes de chlore ne sont détectés que sporadiquement. Ce patron de contamination est

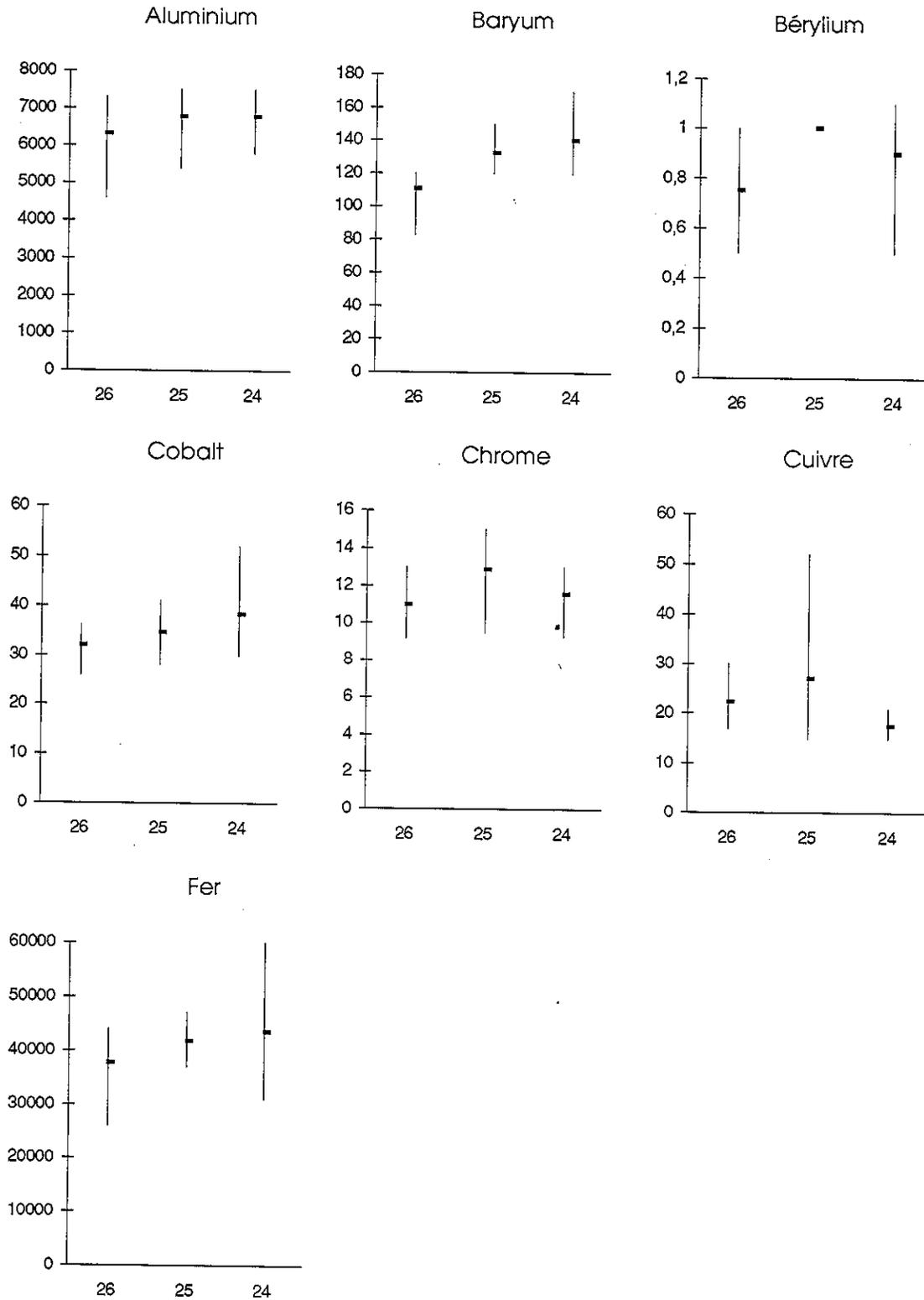


Figure 1 Concentrations (mg/kg) de métaux dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996. Maximum, minimum et moyenne de quatre mesures par station.

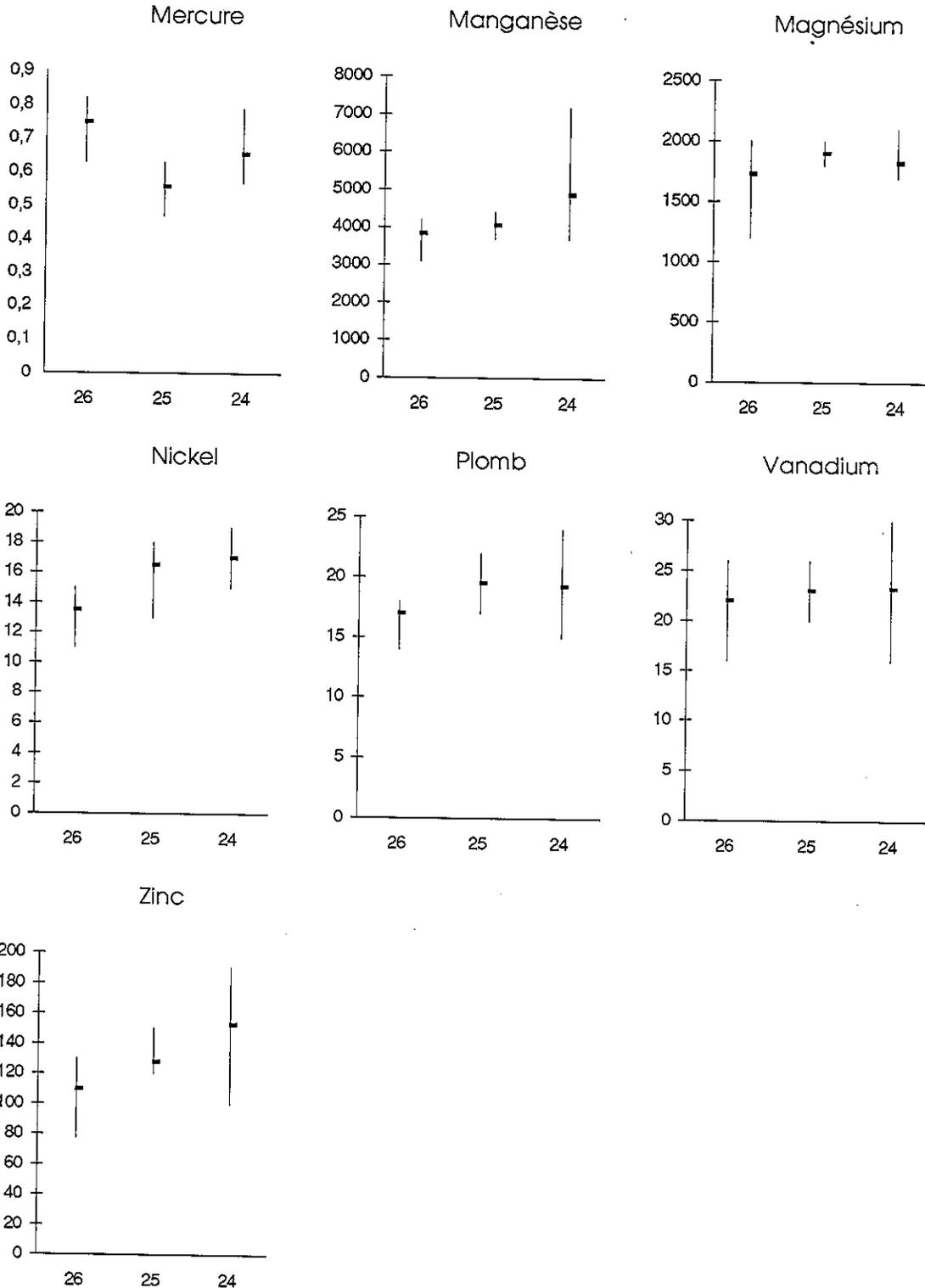


Figure 1 Concentrations (mg/kg) de métaux dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996. Maximum, minimum et moyenne de quatre mesures par station. (suite)

Tableau 1 Concentrations (mg/kg) de métaux dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996

Station	24	24	24	24	25	25
Échantillon	A1	A2	B1	B2	A1	A2
Aluminium	7100	5800	7500	6700	7500	7000
Baryum	140	120	170	130	150	130
Béryllium	1,1	0,5	1	1	1	1
Chrome	12	9,3	12	13	15	14
Cobalt	36	30	52	35	40	28
Cuivre	15	15	21	19	15	52
Fer	42000	31000	60000	41000	47000	39000
Magnésium	2100	1700	1700	1800	2000	2000
Manganèse	4500	3700	7200	4100	4400	3700
Mercure	0,67	0,59	0,79	0,57	0,53	0,47
Nickel	19	15	17	17	18	18
Plomb	19	15	24	19	22	18
Vanadium	23	16	30	24	26	21
Zinc	180	100	190	140	120	120

Station	25	25	26	26	26	26
Échantillon	B1	B2	A1	A2	B1	B2
Aluminium	7200	5400	4600	6600	6700	7300
Baryum	130	120	83	120	120	120
Béryllium	1	1	0,5	0,5	1	1
Chrome	13	9,5	9,2	9,7	13	12
Cobalt	41	29	26	32	34	36
Cuivre	20	21	22	20	17	30
Fer	44000	37000	26000	39000	42000	44000
Magnésium	1800	1800	1200	1800	1900	2000
Manganèse	4300	3800	3100	4000	4000	4200
Mercure	0,6	0,63	0,82	0,8	0,63	0,74
Nickel	17	13	11	13	15	15
Plomb	21	17	14	18	18	18
Vanadium	25	20	16	22	24	26
Zinc	120	150	77	110	120	130

Tableau 2

Concentrations (pg/g) de BPC dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996

Station		26	26	26	26	25	25	25	25	24	24	24	24
Cage		A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
Échantillon	LD	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Trichlorobiphényles													
IUPAC # 18	40	5 400	6 800	7 600	7 700	4 100	4 100	4 100	3 700	7 900	3 900	7 100	4 400
IUPAC # 17	40	2 600	3 000	3 400	3 400	2 000	1 800	2 300	1 500	3 600	1 700	3 000	2 000
IUPAC # 31+28	40	4 900	11 500	11 000	17 300	3 400	6 700	4 600	3 600	9 500	6 000	7 000	7 500
IUPAC # 33	90	1 900	4 700	3 500	6 300	1 600	2 300	2 200	1 300	3 700	2 200	2 900	3 800
Tétrachlorobiphényles													
IUPAC # 52	40	3 600	8 400	8 000	13 000	2 700	3 900	4 000	2 100	6 800	3 400	6 100	5 100
IUPAC # 49	50	1 500	3 100	3 100	14 600	1 200	1 400	1 600	660	2 600	1 300	2 300	1 700
IUPAC # 44	50	1 900	4 500	4 200	7 800	1 400	1 800	2 200	940	3 600	1 800	2 900	2 300
IUPAC # 74	40	340	1 300	750	2 300	280	540	440	240	590	620	480	590
IUPAC # 70	40	1 100	3 500	2 600	6 800	1 100	1 600	1 500	730	1 800	1 600	1 700	1 600
Pentachlorobiphényles													
IUPAC # 95	50	2 200	5 800	5 000	12 000	2 100	2 600	3 600	1 400	3 500	2 600	3 500	3 100
IUPAC # 101	90	680	4 800	2 000	11 000	630	2 500	1 400	1 500	1 200	2 400	1 200	2 800
IUPAC # 99	60	470	1 300	1 100	2 900	600	670	720	NDR	730	700	660	730
IUPAC # 87	60	490	1 400	990	3 100	540	800	850	490	790	880	720	790
IUPAC # 110	30	1 100	2 400	2 100	5 600	1 200	1 500	1 700	910	1 700	1 500	1 500	1 400
IUPAC # 82	50	DNQ	160	150	370	DNQ	DNQ	NDR	77	DNQ	NDR	DNQ	100
IUPAC # 118	30	ND	920	ND	1 900	NDR	730	NDR	530	360	790	290	610
IUPAC # 105	20	140	250	180	430	160	170	200	NDR	260	170	190	160
Hexachlorobiphényles													
IUPAC # 151	30	240	530	410	1 700	270	400	360	290	450	410	320	310
IUPAC # 149	40	710	1 400	1 200	4 200	790	1 000	1 000	790	1 300	1 100	1 100	820
IUPAC # 153+132	30	500	1 200	640	2 460	710	970	650	780	1 000	930	750	620
IUPAC # 138+158	30	350	530	390	15 200	350	675	400	630	680	750	500	452
IUPAC # 128	50	NDR	79	DNQ	150	DNQ	80	NDR	NDR	ND	NDR	DNQ	64
IUPAC # 156	30	NDR	NDR	ND	NDR	DNQ	27	ND	26	NDR	NDR	ND	29
IUPAC # 169	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NDR	ND	ND
Heptachlorobiphényles													
IUPAC # 187	70	170	NDR	DNQ	520	DNQ	160	250	150	270	270	DNQ	NDR
IUPAC # 183	40	NDR	65	ND	210	ND	78	DNQ	NDR	120	130	DNQ	66
IUPAC # 177	100	ND	53	ND	NDR	ND	NDR	ND	NDR	ND	59	ND	32
IUPAC # 171	100	ND	NDR	ND	56	ND	30	ND	NDR	ND	28	ND	NDR
IUPAC # 180	30	NDR	100	190	200	NDR	160	NDR	100	NDR	150	NDR	67
IUPAC # 191	30	NDR	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NDR
IUPAC # 170	30	DNQ	70	NDR	87	DNQ	43	DNQ	110	NDR	44	DNQ	33

Tableau 2 Concentrations (pg/g) de BPC dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996 (suite)

Station		26	26	26	26	25	25	25	25	24	24	24	24
Cage		A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
Échantillon	LD	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Octachlorobiphényles													
IUPAC # 199	30	ND	ND	ND	NDR	ND	NDR	ND	NDR	ND	NDR	ND	ND
IUPAC # 195	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IUPAC # 194	40	NDR	ND	NDR	DNQ	NDR	ND	210	NDR	ND	ND	NDR	ND
IUPAC # 205	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	94	ND	ND
Nonachlorobiphényles													
IUPAC # 208	9	NDR	NDR	56	NDR	NDR	NDR	ND	ND	ND	NDR	NDR	NDR
IUPAC # 206	30	ND	ND	ND	NDR	ND	8	ND	NDR	ND	NDR	ND	ND
Décachlorobiphényle													
IUPAC # 209	10	ND	NDR	DNQ	6	ND	ND	ND	ND	ND	NDR	ND	ND
Groupes homologues													
TRI-CB	40	19 000	37 000	33 000	49 000	14 000	21 000	17 000	13 000	32 000	19 000	26 000	22 000
TETRA-CB	40	11 000	32 000	25 000	51 000	9 200	14 000	13 000	6 600	21 000	14 000	17 000	16 000
PENTA-CB	20	6 000	19 000	14 000	43 000	6 000	10 000	9 900	5 000	10 000	9 600	9 500	10 000
HEXA-CB	30	2 100	4 200	3 400	13 000	2 400	3 600	2 900	2 700	4 100	3 800	3 300	2 700
HEPTA-CB	30	170	540	190	2 200	ND	640	250	410	390	680	ND	410
OCTA-CB	30	ND	32	ND	95	ND	41	210	ND	ND	140	ND	ND
NONA-CB	9	ND	ND	56	ND	ND	14	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DÉCA-CB	10	ND	NDR	ND	6	ND	ND	ND	ND	ND	NDR	ND	ND
TOTAL		38 000	93 000	76 000	160 000	32 000	49 000	43 000	28 000	67 000	47 000	56 000	51 000

ND : non détecté

DNQ : détecté mais non quantifié; < la limite de quantification

NDR : détecté mais ne satisfait pas le rapport isotopique

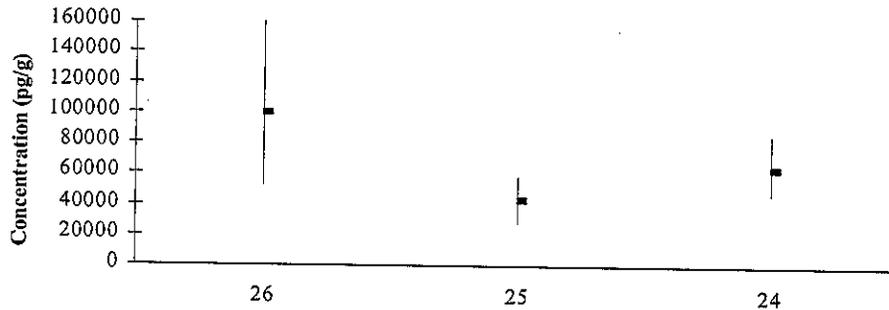


Figure 2 Concentrations (pg/g) de BPC dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière aux stations 26, 25 et 24 en 1996. Somme des BPC dosés par congénère; quatre échantillons par station.

semblable à celui observé sur d'autres cours d'eau où ce type d'analyse a été effectué. Les concentrations moyennes par station, qui sont de 99,3 ng/g à 43,8 ng/g aux trois stations de la haute Chaudière, sont plus élevées que celles mesurées dans le Richelieu (31,5 à 54 ng/g), mais moins élevées que dans la Yamaska : 88 à 123 ng/g.

Dioxines et furannes chlorés

Le tableau 3 présente les résultats de l'analyse des dioxines et furannes chlorés dans les mousses aquatiques. De la station 26 à la station 25 puis à la station 24, les concentrations passent de 1,15 à 0,95 puis à 0,122 pg/g en équivalents toxiques de 2,3,7,8-

TCDD. Il y a donc une diminution plutôt qu'une hausse des concentrations. Les dioxines et furannes ne peuvent donc être mises en cause pour les impacts observés sur le poisson.

La figure 3 compare ces résultats à ceux obtenus dans la basse Chaudière aux stations 4 et 5 en 1994 ainsi que dans d'autres cours d'eau. On constate que les concentrations moyennes aux stations 26 et 25 de la haute Chaudière semblent élevées. Cependant, ces moyennes ne sont dues qu'à une valeur élevée parmi les quatre mesures à chaque station.

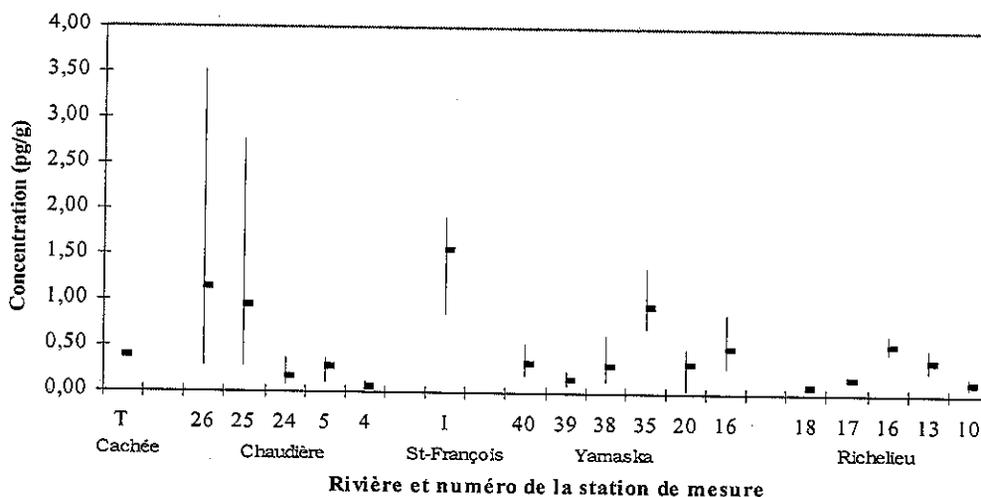


Figure 3 Concentrations de dioxines et furannes totaux mesurées dans les mousses aquatiques placées dans différents cours d'eau, en équivalents toxiques de 2,3,7,8-TCDD.

Tableau 3 Concentrations (pg/g) de dioxines et furannes chlorés dans les mousses aquatiques placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996

Station		26	26	26	26	25	25	25	25	24	24	24	24
Cage		A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
Échantillon		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
LD													
Dioxines													
2378-T4CDD	1	ND	NDR	ND	ND	ND	ND	DNQ	ND	ND	ND	ND	ND
12378-P5CDD*	0,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,6	ND	ND	ND	ND	ND
123478-H6CDD	0,8	ND	ND	ND	DNQ	ND	ND	2,8	ND	ND	ND	ND	ND
123678-H6CDD	0,6	ND	ND	ND	NDR	ND	DNQ	2,9	DNQ	DNQ	0,44	ND	ND
123789-H6CDD	0,6	ND	NDR	ND	NDR	ND	1,1	4,3	0,3	DNQ	0,7	ND	NDR
1234678-H7CD	0,5	5,8	8,1	6,3	8,3	5,2	8,4	8,9	5,1	8,8	6,3	5,2	6,1
OCDD		30	31	25	28	23	28	28	26	43	23	28	24
T4CDD	1,0	ND	ND	ND	0,7	ND	2,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
P5CDD	0,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,6	ND	ND	ND	ND	ND
H6CDD	0,6	ND	ND	2,1	ND	2,5	2,2	10	ND	ND	1,2	ND	ND
H7CDD	0,5	9,2	14	9,9	8,3	8,7	13	13	8	14	6,3	8,6	9,7
Furannes													
2378-T4CDF*	0,8	2,8	34	2	2,6	1,9	2,2	DNQ	1,9	DNQ	1,6	DNQ	DNQ
12378-P5CDF*	0,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	DNQ	ND	ND	ND	ND	ND
23478-P5CDF*	0,7	ND	ND	ND	DNQ	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
123478-H6CDF	0,5	ND	ND	ND	NDR	ND	ND	NDR	ND	ND	ND	ND	ND
123678-H6CDF	0,4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,8	ND	ND	ND	ND	ND
234678-H6CDF	0,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,6	ND	ND	ND	ND	ND
123789-H6CDF	0,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,1	ND	ND	ND	ND	ND
1234678-H7CD	0,6	0,15	2,0	0,15	1,9	1,3	1,8	4,9	1,1	2,3	1,6	NDR	DNQ
1234789-H7CD	0,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,8	ND	ND	ND	ND	ND
OCDF	0,9	3,3	NDR	3,1	3,2	2,5	2,3	4,6	2,7	4,6	2	3,6	NDR
T4CDF	0,8	2,8	75	2	2,6	1,9	2,2	ND	1,9	ND	1,6	ND	ND
P5CDF	0,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
H6CDF	0,4	ND	1,7	ND	1,2	ND	ND	8,7	ND	ND	ND	ND	ND
H7CDF	0,6	2,3	2	ND	3,6	2,9	4	8,7	2,3	4,5	3,3	ND	ND

ND : non détecté

DNQ : détecté mais non quantifié; < la limite de quantification

NDR : détecté mais ne satisfait pas le rapport isotopique

Composés organiques semi-volatils

Les résultats de l'analyse des composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse sont présentés au tableau 4. Il y a des résultats au-dessus des limites de détection des méthodes d'analyse pour 17 des 66 substances recherchées. De plus, cinq autres substances détectées sur les chromatogrammes ont été identifiées et quantifiées.

La figure 4 illustre les résultats pour toutes les substances qui dépassent la limite de détection dans plusieurs échantillons, sauf le phénol. Pour ce composé, presque toutes les mesures se situent entre 0,2 et 0,5 µg/l.

Pour presque toutes les substances détectées, la figure 4 ne montre pas de différence marquée entre les concentrations mesurées aux trois stations de mesure. Il y a des fluctuations dans les moyennes observées, mais les gammes de concentrations mesurées à chaque station se chevauchent.

Les exceptions à ce constat sont le butylbenzylphthalate et le bis(2-éthylhexyl)phthalate. Dans le premier cas, il y a peut-être une légère hausse des concentrations de la station 26 à la station 25. Dans le cas du bis(2-éthylhexyl) phthalate, ce sont les concentrations à la station 26 qui sont nettement plus élevées.

CONCLUSION

Les analyses supplémentaires de substances toxiques effectuées dans les mousses aquatiques et les cellules à dialyse en 1996 ne permettent pas d'expliquer les impacts observés sur la communauté piscicole de la rivière Chaudière dans le secteur de Saint-Gédéon en 1994. De la station 26 à la station 24, certaines substances présentent des hausses apparentes de leur concentration moyenne alors que d'autres présentent des baisses. Cependant, dans la plupart des cas, les différences en cause se situent dans la fourchette de variabilité intrastation.

La dégradation de la communauté ichthyologique de la rivière Chaudière observée à Saint-Gédéon en 1994 peut être due à :

- des substances polluantes autres que celles mesurées dans la présente vérification;
- des substances qui étaient déversées dans la rivière en 1994 ou avant, mais qui ne l'étaient plus en juin et juillet 1996;

- d'autres causes que la pollution.

Avant de chercher plus à fond les causes de l'impact sur la communauté de poissons observée en 1994, il faudrait vérifier l'état actuel de cette communauté. En effet, il n'y aura plus lieu de poursuivre les recherches si la rivière a retrouvé, dans le secteur de Saint-Gédéon, une bonne intégrité biotique.

Dans le cas des BPC, les analyses supplémentaires faites en 1996 indiquent qu'il y a possiblement une source active de ces substances en amont de la station 26, dans le secteur de Saint-Ludger. Il y aurait lieu de vérifier la présence de BPC dans les sources potentielles de cette municipalité.

Tableau 4 Concentrations (ug/l) de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996

STATION	24	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	26
CAGE	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
ÉCHANTILLON	2	3	3	4	1	2	1	3	2	4	3	4
PHÉNOL	<0,1	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3
ANILINE	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,0	<0,5	<0,5	1,1
BIS(2-CHLOROÉTHYL)ÉTHÉR	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
2-CHLOROPHÉNOL	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
1,3-DICHLOROBENZÈNE	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,4-DICHLOROBENZÈNE	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,6	0,7	1,0	1,2	0,6	0,8
BENZYL ALCOOL	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1,2-DICHLOROBENZÈNE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
2-MÉTHYLPHÉNOL	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
BIS(2-CHLOROISOPROPYL)ÉTHÉR	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
4-MÉTHYLPHÉNOL	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
N-NITROSODI-N-PROPYLAMINE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
HEXACHLOROÉTHANE	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
NITROBENZÈNE	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
ISOPHORONE	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2-NITROPHÉNOL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2,4-DIMÉTHYLPHÉNOL	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
BIS(2-CHLOROÉTHOXY)MÉTHANE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
2,4-DICHLOROPHÉNOL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,2,4-TRICHLOROBENZÈNE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
NAPHTALÈNE	1,5	1,4	1,5	1,6	1,6	1,4	1,3	1,3	1,8	1,8	1,2	1,8
4-CHLOROANILINE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
HEXACHLOROBUTADIENE	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
4-CHLORO-3-MÉTHYLPHÉNOL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2-MÉTHYLNAPHTALÈNE	0,85	0,72	0,74	0,85	0,83	0,64	0,59	0,55	0,79	0,72	0,57	0,97
HEXACHLOROCYCLOPENTADIÈNE	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2,4,6-TRICHLOROPHÉNOL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2,4,5-TRICHLOROPHÉNOL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2-CHLORONAPHTALÈNE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
2-NITROANILINE	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
DIMÉTHYLPHALATE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
ACÉNAPHTYLÈNE	0,18	0,14	0,13	0,13	0,13	0,11	0,13	0,12	0,16	0,11	0,11	0,35
3-NITROANILINE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
ACÉNAPHTÈNE	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
DIBENZOFURANE	0,2	0,09	0,84	0,09	0,12	0,1	0,09	0,09	0,18	0,09	0,09	0,29
2,4-DINITROTOLUÈNE	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
DIÉTHYLPHALATE	5,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,94	3,9	0,8	1,2	6,5
FLUORÈNE	0,94	0,13	0,13	0,14	0,18	0,13	0,13	0,14	0,57	0,13	0,13	<0,05
4-CHLOROPHÉNYLPHÉNYL ÉTHÉR	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2,4-DINITROPHÉNOL	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
4-NITROPHÉNOL	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
4-NITROANILINE	<1,5	<1,5	<1,5	6	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
2-MÉTHYL-4,6-DINITROPHÉNOL	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
N-NITROSODIPHÉNYLAMINE	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
AZOBENZÈNE	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
4-BROMOPHÉNYLPHÉNYL ÉTHÉR	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
HEXACHLOROBENZÈNE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PENTACHLOROPHÉNOL	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2

Tableau 4 Concentrations (ug/l) de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996 (suite)

STATION	24	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	26
CAGE	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
ÉCHANTILLON	2	3	3	4	1	2	1	3	2	4	3	4
PHÉNANTHRÈNE	<0,1	0,5	0,4	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	1,3	0,4	0,5	2
ANTHRACÈNE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1
DI-N-BUTYLPHTALATE	32	50	50	39	55	47	43	48	37	31	64	39
FLUORANTHÈNE	<0,1	0,6	0,6	0,6	0,7	0,4	0,4	0,4	0,8	0,3	0,4	0,8
PYRÈNE	<0,1	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,7	0,3	0,4	<0,1
BUTYLBENZYLPHALATE	<2	6	8	6	11	5	8	7	<2	5	5	<2
BENZO(a)ANTHRACÈNE	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
CHRYSÈNE	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
BIS(2-ÉTHYLHEXYL)PHTALATE	170	39	42	26	110	4	340	40	870	310	630	980
DI-N-OCTYLPHTALATE	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
BENZO(b)FLUORANTHÈNE	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
BENZO(k)FLUORANTHÈNE	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
BENZO(a)PYRÈNE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
INDÉNO(1,2,3-cd)PYRÈNE	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
DIBENZO(a,h)ANTHRACÈNE	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
BENZO(g,h,i)PERYLÈNE	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
2,6-DINITROTOLUÈNE	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
CARBAZOLE	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
MÉTHYL DIÉTHYL THIOCARBAMATE	12	3	8	4	3	3	4	8	6	-	4	6
1-MÉTHYLNAPHTALÈNE	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,6	0,4	0,4	-
2-MÉTHYLTHIO BENZOTHIAZOLE	-	3	4	4	4	2	4	4	5	3	3	-
BENZOPHÉNONE	6	3	6	4	3	4	-	8	3	-	3	6
DISULFIRAM	-	6	8	10	5	6	6	8	-	8	6	-

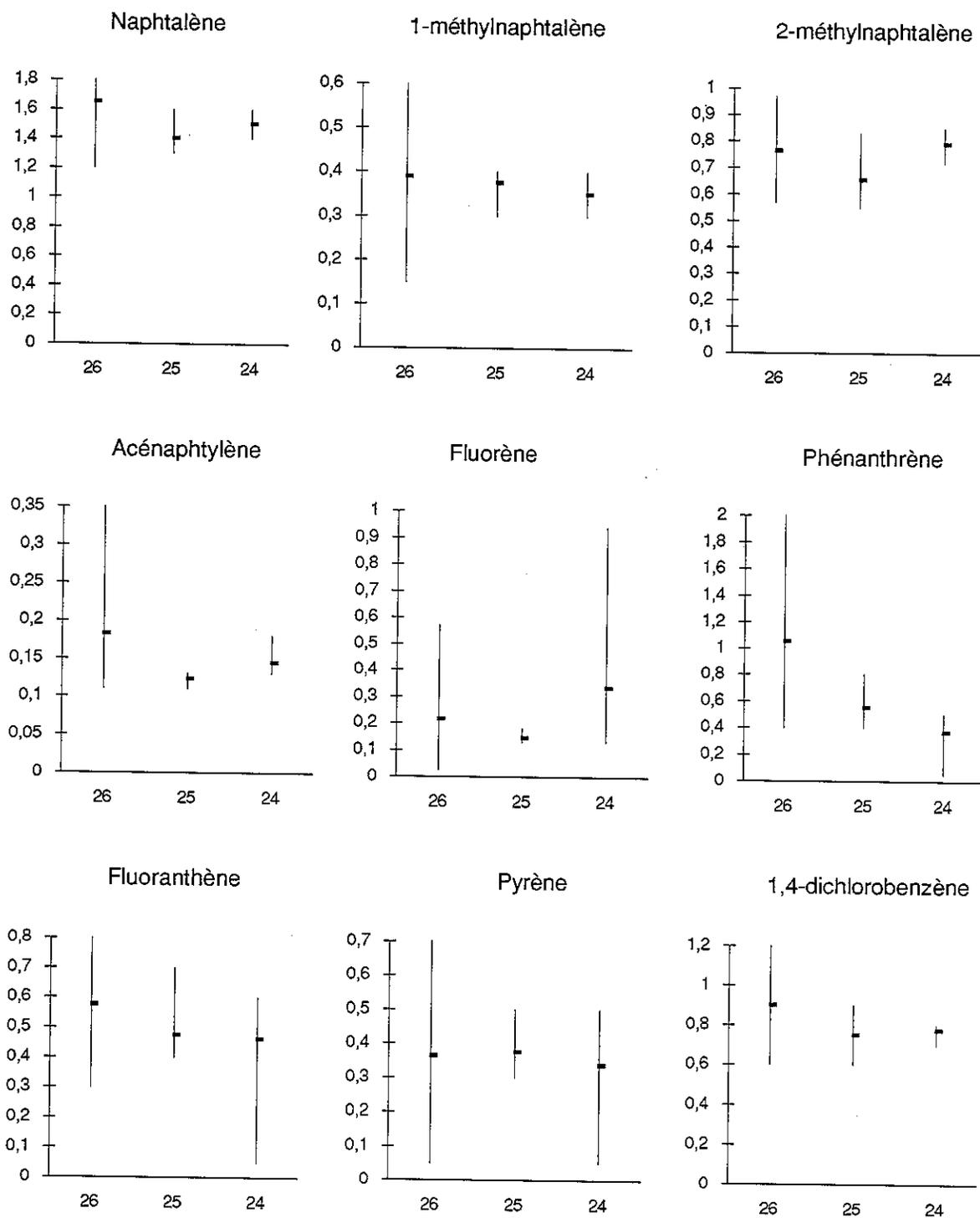


Figure 4 Concentrations (ug/l) de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996. Minimum, maximum et moyenne de quatre mesures par station.

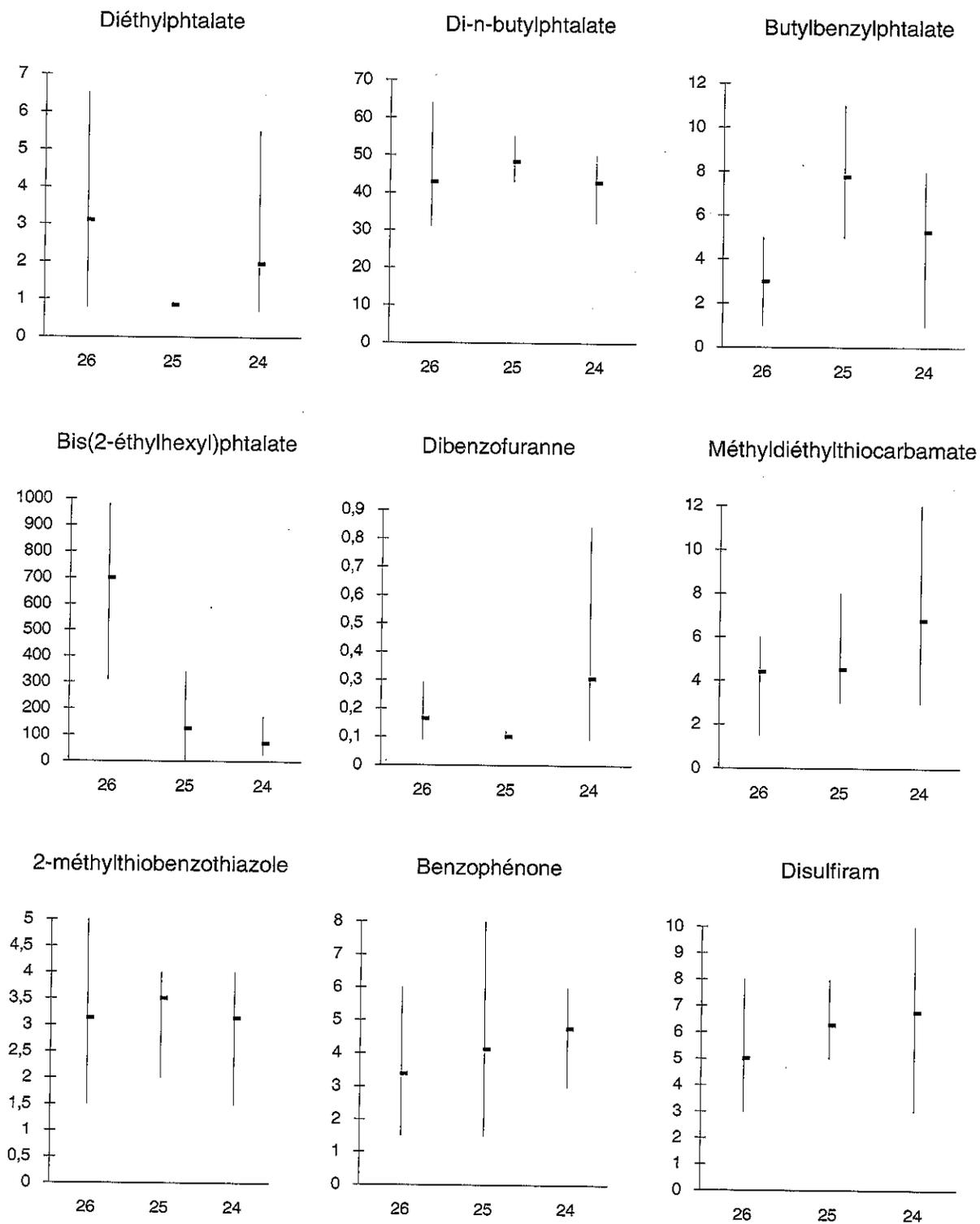


Figure 4 Concentrations ($\mu\text{g/l}$) de composés organiques semi-volatils dans les cellules à dialyse placées dans la rivière Chaudière aux stations 24, 25 et 26 en 1996. Minimum, maximum et moyenne de quatre mesures par station. (suite)